



TUGAS AKHIR TF 181801

**EVALUASI UNJUK KERJA *DEREVERBERATION*
UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS SUARA
PENGGUNA IMPLAN KOKLEA AKIBAT
PENGARUH *REVERBERATION TIME***

ALIF SAIFUL ZULFI
NRP. 0231154000022

Dosen Pembimbing
Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

Program Studi S-1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR TF 181801

**EVALUASI UNJUK KERJA *DEREVERBERATION*
UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS SUARA
PENGGUNA IMPLAN KOKLEA AKIBAT
PENGARUH *REVERBERATION TIME***

ALIF SAIFUL ZULFI
NRP. 0231154000022

Dosen Pembimbing
Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001

Program Studi S-1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Halaman ini memang dikosongkan



FINAL PROJECT TF 181801

**DEREVERBERATION PERFORMANCE
EVALUATION TO IMPROVE THE SOUND
INTELLIGIBILITY OF COCHLEAR IMPLANT
USER DUE TO EFFECT OF REVERBERATION
TIME**

**ALIF SAIFUL ZULFI
NRP. 0231154000022**

**Supervisor
Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng
NIP. 19731007 199802 1 001**

**Departement of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

Halaman ini memang dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alif Saiful Zulfi
NRP : 02311540000022
Departemen/Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Unjuk Kerja *Dereverberation* Untuk Meningkatkan Kualitas Suara Pengguna Implan Koklea Akibat Pengaruh *Reverberation Time***” adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Agustus 2019
Yang membuat pernyataan,



Alif Saiful Zulfi
NRP. 02311540000022

Halaman ini memang dikosongkan

**EVALUASI UNJUK KERJA *DEREVERBERATION*
UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS SUARA
PENGGUNA IMPLAN KOKLEA AKIBAT PENGARUH
*REVERBERATION TIME***

TUGAS AKHIR

Oleh:

ALIF SAIFUL ZULFI

NRP. 0231154000022

Surabaya, 5 Agustus 2019

Menyetujui,

Pembimbing,

Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng

NIP. 19731007 199802 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTI ITS,



Agus Parto Mad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini memang dikosongkan

**EVALUASI UNJUK KERJA *DEREVERBERATION* UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS SUARA PENGGUNA
IMPLAN KOKLEA AKIBAT PENGARUH
*REVERBERATION TIME***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Rekayasa Vibrasi dan Akustik
Program Studi S1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ALIF SAIFUL ZULFI
NRP. 0231154000022

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng  (Pembimbing)
2. Ir. Yerri Susatio, MT  (Ketua Penguji)
3. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M. Sc  (Penguji I)
4. Moch. Kamalul Wafi, ST, MSc.DIC  (Penguji II)

Surabaya,

Agustus 2019

Halaman ini memang dikosongkan

**EVALUASI UNJUK KERJA *DEREVERBERATION* UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS SUARA PENGGUNA
IMPLAN KOKLEA AKIBAT PENGARUH
*REVERBERATION TIME***

Nama Mahasiswa : Alif Saiful Zulfi
NRP : 0231154000022
Jurusan : Teknik Fisika FTI ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Dhany Arifianto, S.T, M.Eng

Abstrak

Kemampuan identifikasi wicara pengguna implan koklea telah mengalami peningkatan. Namun kemampuan tersebut menurun apabila mereka berada di ruangan yang berisik karena adanya dengung. Pengaruh waktu dengung menyebabkan penurunan kualitas suara yang didengar oleh pengguna implan koklea. Penelitian dilakukan dengan menentukan stimuli suara yang akan diujikan pada naracoba yang memiliki pendengaran normal. Tanggapan kejelasan suara terhadap stimuli suara asli menunjukkan hasil 99.4% presentase kata benar dan nilai pengujian subjektif melalui metode *Mean Opinion Score* (MOS) menunjukkan angka 4.9/5. Hasil tersebut menurun ketika mereka diperdengarkan stimuli yang telah disimulasikan terhadap elektroda 8,12,16, dan 22 *channel*. Namun terjadi kenaikan nilai MOS seiring dengan kenaikan nilai elektroda. Tahap selanjutnya untuk mengetahui pengaruh dengung dengan menggunakan stimuli suara yang telah terpengaruh efek *reverberant* dan disimulasikan menggunakan vocoder. Waktu dengung yang digunakan yaitu pada ruang C124 dan TeaterA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh waktu dengung menjadikan penurunan kualitas pendengaran hingga mencapai 45% dengan nilai 2.7/5 pada ruangan C124 dan 46% dengan nilai 2.6/5 pada ruangan TeaterA. Metode *dereverberation* dapat mengurangi efek dengung ruangan. Ditunjukkan dengan adanya kenaikan nilai MOS pada ruang C124 dari 2.73/5 menjadi 3.38/5 dan pada ruang Teater A dari 2.67/5 menjadi 3.14/5. Juga disajikan data kenaikan

nilai MOS terhadap elektroda uji yang juga mengalami kenaikan meskipun tidak signifikan. Selain itu dapat dideteksi dengan hasil pengujian objektif yang juga mengalami kenaikan.

Kata kunci: *reverberation time, implan koklea, release of masking, metode dereverberation, mean opinion score*

**DEREVERBERATION PERFORMANCE EVALUATION TO
IMPROVE THE SOUND INTELLIGIBILITY OF
COCHLEAR IMPLANT USER DUE TO EFFECT OF
REVERBERATION TIME**

Name of Student : Alif Saiful Zulfi
NRP : 0231154000022
Department : Engineering Physics, FTI ITS
Supervisor : Dr. Dhany Arifianto, S.T, M.Eng

Abstract

Speech recognition ability of cochlear implant users had increased significantly. But this ability decrease if they are in noisy room because of reverberation. The effect of reverberation time is decreasing the speech quality that is heard by cochlear implant users. The study was conducted by determining the speech stimulus that will be tested on listeners who have normal hearing. The sound intelligibility response of the clean speech stimuli shows 99.4% correct words and the subjective test value through the Mean Opinion Score (MOS) shows the number 4.9/5. These results decreased when they were heard the stimuli against 8, 12, 16 and 22 channel electrodes. But there is an increased in the MOS value as the electrode increased by 8% per increase of the electrode. The next step is to determine the effect of reverberation using speech stimuli that have been processed with reverberant effect and simulated using vocoder. Reverberation time value which is used, are in C124 and TeaterA. The result showed that reverberation influenced the speech intelligibility to 45% with a value of 2.7/5 and 46% with a value of 2.6/5. Dereverberation method can reduce the reverberation effect of the room. MOS value is increased from 2.73/5 to 3.38/5 in C124 and from 2.67/5 to 3.14/5 in Teater A. The data also presented in MOS vaue of electrodes whether it doesn't have significant increased. Beside, it can be detected by the PESQ test result which also increased.

Key words: *reverberation time, cochlear implant, release of masking, dereverberation, mean opinion score*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul “**Evaluasi Unjuk Kerja *Dereverberation* Untuk Meningkatkan Kualitas Suara Pengguna Implan Koklea Akibat Pengaruh *Reverberation Time***” dapat terselesaikan.

Halaman kata pengantar ini saya dedikasikan untuk berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini. Ucapan terimakasih secara khusus saya berikan kepada orang-orang berikut ini

1. Dosen Pembimbing saya Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng telah sabar memotivasi, membimbing, dan memberikan ilmunya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepala Departemen Teknik Fisika ITS Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T.,M.Si.,Ph.D
3. Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
4. Ibu saya (Wiwik Tarwiati), seorang ibu yang hebat, tak pernah berhenti mendoakan, memberi dukungan dan yang selalu ada
5. Keluarga besar saya yang selalu mendoakan dan memberikan semangat dalam mengerjakan tugas akhir
6. Teman – teman Laboratorium Vibrasi dan Akustik, Bintang, Tenti, Fery, Aditya, Mayang, Rahma, Bina, Fiqiyah, Nanda, Aisah, Vandii, Lina, Ina, Afis, Billy dan seluruh anggota Lab yang banyak menemani saya
7. Seluruh responden yang sudah membantu berjalannya tugas akhir saya
8. TA wan dan TA wati sebelum saya, Mas Sena dan Mbak Harisma yang telah mengajarkan tentang implant koklea dan *software* penunjangnya kepada saya

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan

kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	iii
Pernyataan Bebas Plagiarisme.....	v
Lembar Pengesahan 1	Error! Bookmark not defined.
Lembar Pengesahan 2	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR ISTILAH.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	3
2.1 Anatomi dan Fisiologi Telinga.....	5
a. Telinga Luar.....	5
b. Telinga Tengah	6
c. Telinga Dalam.....	6
2.2 Gangguan Pendengaran.....	7
2.3 Implan Koklea.....	9
2.4 Vocoder.....	12
2.5 Efek Dari Jumlah Elektroda	13
2.6 Release of Masking.....	15
2.7 <i>Reverberation</i>	16
2.8 <i>Room Impulse Response</i>	19
2.9 Efek <i>Reverberation Time</i> Pada Pengguna Implan Koklea.....	21
2.10 Dereverberation.....	22
a. Reverberation Suppression Technique	22
b. Reverberation Cancellation Technique	23

2.11	<i>Blind Dereverberation</i> menggunakan Maximum Kurtosis dari sinyal residual	23
2.12	Pengujian Subjektif	27
2.13	Penilaian Objektif	27
3.1	Pengambilan Data Room Impulse Response	32
3.2	Database Suara	32
3.3	Pembuatan Stimuli (Suara Uji)	33
a.	Stimuli Suara Asli	33
b.	Stimuli Uji Terhadap Nilai Vocoder	33
c.	Stimuli Uji Suara Target yang Tercampur dengan Masker	36
d.	Stimuli Reverberant	38
e.	Stimuli Suara <i>Dereverberant</i>	39
3.4	Pengujian Subjektif	41
3.5	Pengujian Objektif	42
3.6	Pengujian Hasil dan Penarikan Kesimpulan	42
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Tanggapan Kejelasan Suara	43
4.2	Perubahan Nilai Elektroda Terhadap Suara Uji	43
4.3	Suara Basis dengan Suara Reverberant	45
4.4	Suara Reverberant dengan Elektroda Uji	50
4.5	<i>Release of Masking</i>	53
4.6	Baseline 0 dB dan Baseline 5 dB	54
4.7	<i>Gender</i> sama dengan <i>Gender</i> Berbeda	55
4.8	Performa untuk mengurangi pengaruh waktu dengung	56
4.9	Hasil Pengujian Obyektif	64
4.10	Pembahasan	65
BAB V PENUTUP		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71
BIODATA PENULIS		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Telinga (Valerie C. Scanlon, 2007).....	5
Gambar 2. 2 Komponen Penyusun Implan Koklea.....	10
Gambar 2. 3 <i>Noise Band Vocoder</i>	13
Gambar 2. 4 Daerah terjadinya <i>release of masking</i> (Arifianto, 2013).....	16
Gambar 2. 5 Diagram ilustrasi <i>impulse response</i> di dalam ruangan (Gade, 2007)	19
Gambar 2. 6 Proses menentukan <i>impulse response</i>	20
Gambar 2. 7 Blok diagram algoritma untuk <i>dereverberation</i>	25
Gambar 2. 8 Diagram blok modifikasi	26
Gambar 2. 9 Algoritma PESQ	29
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian	31
Gambar 3. 2 <i>Bandpass Filter</i> untuk <i>Vocoder 8 Channel</i>	34
Gambar 3. 3 Spektrum Suara Asli	35
Gambar 3. 4 Spektrum Suara yang Telah Masuk ke Vocoder 8 Elektroda.....	35
Gambar 3. 5 <i>Time waveform</i> sinyal suara asli (a), suara <i>reverberant</i> C124 (b), suara <i>reverberant</i> Teater A (c).....	38
Gambar 3. 6 <i>Time waveform</i> sinyal suara asli (a), sinyal suara <i>reverberant</i> (b), dan sinyal suara yang di <i>inverse filter</i> (c)	39
Gambar 3. 7 Spektrogram sinyal suara asli (a), sinyal suara <i>reverberant</i> (b), dan sinyal suara yang di <i>inverse filter</i> (c)	39
Gambar 3. 8 <i>Time waveform</i> sinyal suara asli (a), sinyal suara <i>reverberant</i> (b), sinyal suara yang di <i>inverse filter</i> (c), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i> (d)	40
Gambar 3. 9 Spektrogram sinyal suara asli (a), sinyal suara <i>reverberant</i> (b), sinyal suara yang di <i>inverse filter</i> (c), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i> (d)	40
Gambar 4. 1 Nilai MOS suara asli dengan suara yang sudah masuk vocoder	44
Gambar 4. 2 <i>Waveform</i> (a) sinyal suara asli, (b) sinyal <i>reverberant</i> C124, (c) sinyal <i>reverberant</i> TeaterA	

	dan <i>spectrogram</i> (d) sinyal suara asli, (e) sinyal <i>reverberant</i> C124, dan (f) sinyal <i>reverberant</i> TeaterA	47
Gambar 4. 3	Nilai uji subjektif suara asli dengan suara <i>reverberant</i>	48
Gambar 4. 4	Perbandingan presentase kata benar dalam 3 kondisi ruangan	49
Gambar 4. 5	Nilai perbandingan uji subjektif suara asli vs suara <i>reverberant</i> pada C124 terhadap nilai elektroda.....	51
Gambar 4. 6	Nilai perbandingan uji subjektif suara asli vs suara <i>reverberant</i> pada Teater A terhadap nilai elektroda	51
Gambar 4. 7	Perbandingan presentase kata benar antara 2 kondisi ruang dengan <i>reverberation time</i> yang berbeda yang dilewatkan <i>channel vocoder</i>	52
Gambar 4. 8	Nilai Presentase Kata Benar terhadap elektroda uji dengan target perempuan dan masker perempuan ..	54
Gambar 4. 9	Perbandingan presentase kata benar target perempuan dan masker laki-laki baseline 0dB dan 5dB.....	55
Gambar 4. 10	Perbandingan presentase kata benar antara perempuan-perempuan dan perempuan-laki-laki .	56
Gambar 4. 11	<i>Time waveform</i> sinyal residual suara asli (a) dan <i>time-waveform</i> sinyal residual suara <i>reverberant</i> C124	57
Gambar 4. 12	<i>Time waveform</i> sinyal residual suara asli (a) dan <i>time waveform</i> sinyal residual suara <i>reverberant</i> Teater A.....	57
Gambar 4. 13	Kurtosis sinyal suara asli (a), kurtosis sinyal yang sudah di <i>inverse filter</i> (b), dan kurtosis sinyal suara <i>reverberant</i> C124 (c)	58
Gambar 4. 14	Kurtosis sinyal suara asli (a), kurtosis sinyal suara <i>reverberant</i> TeaterA (b), dan kurtosis sinyal yang sudah di <i>inverse filter</i> (c)	58
Gambar 4. 15	<i>Time waveform</i> sinyal suara asli (a), <i>time waveform</i> sinyal suara <i>reverberant</i> C124 (b), <i>tme waveform</i>	

	sinyal suara yang telah di <i>inverse filter</i> (c), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i>	59
Gambar 4. 16	<i>Time waveform</i> sinyal suara asli (a), <i>time waveform</i> sinyal suara <i>reverberant</i> TeaterA (b), <i>time</i> <i>waveform</i> sinyal suara yang telah di <i>inverse filter</i> (c), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i>	60
Gambar 4. 17	Spectrogram sinyal suara asli (a), spectrogram sinyal suara <i>reverberant</i> C124 (b), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i> (c)	60
Gambar 4. 18	Spectrogram sinyal suara asli (a), spectrogram sinyal suara <i>reverberant</i> TeaterA (b), dan sinyal suara hasil <i>dereverberant</i> (c)	61
Gambar 4. 19	Perbedaan Nilai MOS <i>Reverberant</i> dan <i>Dereverberant</i>	62
Gambar 4. 20	Perbandingan Nilai MOS <i>Reverberant</i> dan <i>Dereverberant</i> terhadap Elektroda Uji C124	63
Gambar 4. 21	Perbandingan Nilai MOS <i>Reverberant</i> dan <i>Dereverberant</i> terhadap Elektroda Uji TeaterA...	64

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Penilaian ACR	27
Tabel 3. 1 Tabel jumlah channel, frekuensi dan bandwith.....	36
Tabel 3.2 Perbandingan <i>Channel Target</i> dan <i>Masker</i> untuk Stimuli <i>Baseline</i>	37

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR ISTILAH

<i>baseline</i>	: Suara sebelum diberi efek
<i>center frequency</i>	: Satu nilai frekuensi filter yang mewakili frekuensi filter tersebut
<i>channel</i>	: Sinyal suara yang dihasilkan oleh sebuah filter <i>bandpass</i> pada vocoder. Satu <i>channel</i> hanya memiliki satu <i>center frequency</i> , sehingga dua puluh <i>channel</i> memiliki dua puluh <i>center frequency</i>
<i>cochlear implant</i>	: Alat bantu dengar yang menggantikan fungsi dari koklea
<i>cocktail party</i>	: Fenomena di tempat yang gaduh (manusia) dimana suara yang terdengar tidak hanya suara target
<i>database</i>	: Kumpulan suara asli
<i>target</i>	: Suara yang ingin didengarkan
<i>masker</i>	: <i>Noise</i> yang ditumpukkan ke suara target
<i>native speaker</i>	: Pembicara asli suatu bahasa
<i>noise</i>	: Suara yang mengganggu
<i>release of masking</i>	: Fenomena otak memanfaatkan jeda antar suku kata pada suara target terhadap suara <i>masker</i> untuk meningkatkan kejelasan dari suara target
<i>reverberation time</i>	: Waktu dengung. Waktu yang dibutuhkan oleh bunyi dalam ruangan untuk berkurang 60dB setelah bunyi berhenti
<i>deverberation</i>	: Metode untuk mengurangi waktu dengung
vocoder	: Alat untuk memproses sinyal dimana sinyal suara dipecah menjadi <i>channel</i> yang diinginkan untuk direpresentasikan ke elektroda
<i>impulse response</i>	: Sumber dasar informasi mengenai suara yang dapat didengar di dalam ruang
konvolusi	: Proses menggabungkan dua sinyal untuk

- mendapatkan sinyal baru yang berbeda dari sinyal asli
- kurtosis* : Merupakan puncak dari suatu distribusi
- residual* : Error prediksi dari sebuah sinyal
- Mean Opinion Score* : Jenis pengujian subjektif dengan memberikan nilai rentang 1-5
- PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality)* : Jenis pengujian objektif berdasarkan rekomendasi ITU-T.P862 dengan membandingkan sinyal suara asli dan sinyal suara hasil pemrosesan
- spektrogram : Spektrum frekuensi sinyal suara terhadap waktu
- Time-waveform* : Plot amplitudo sinyal suara terhadap waktu

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Implan koklea adalah alat bantu dengar untuk penderita tuna rungu. Teknologi implan koklea mengalami peningkatan kualitas dalam hal tingkat kejelasan suara (*speech intelligibility index*). Kemampuan identifikasi wicara pengguna implan koklea meningkat secara signifikan dalam dekade terakhir dengan presentase sebesar 70%-80% untuk kalimat yang diperdengarkan dalam ruang sunyi. Namun kemampuan tersebut menurun ketika berada di ruangan yang berisik (Stickney, 2004). Dengung dapat terjadi di dalam sebuah ruangan dan menyebabkan pengguna implan koklea kesulitan dalam mengidentifikasi wicara. Adanya refleksi dan difraksi dinding, atap, dan benda-benda lain yang berada di ruangan tertutup menyebabkan terjadinya dengung. Pantulan dan persebaran suara mengakibatkan adanya dengung, pantulan awal pada ruang dengung menyebabkan adanya penumpukan sinyal suara pada zona diam (Hazrati, 2013). Pada pendengar normal, dengung menyebabkan adanya penurunan kualitas suara yang didengarkan. Penelitian lebih lanjut menunjukkan adanya pengaruh waktu dengung atau *reverberation time* (RT_{60}) yang pendek menyebabkan penurunan kualitas suara yang terdengar oleh pengguna implan koklea (Kokkinakis, 2011).

Penelitian yang pernah dilakukan menjelaskan bahwa gangguan kejelasan pendengaran menjadi memburuk ketika nilai $RT_{60} > 0,5$ detik. Seiring penambahan linier nilai RT_{60} maka kejelasan ucap berkurang secara eksponensial. Waktu dengung memengaruhi kejelasan ucap karena energi suara dengung menciptakan suara temporal dan mengotori percakapan secara tumpang tindih (Whitmal, 2009). Adanya waktu dengung sebesar 1 detik menyebabkan penurunan kejelasan ucap sebesar 60% dibandingkan pada ruang yang tenang. Selain itu pengaruh

dengung juga memengaruhi perbedaan pengucapan konsonan dan vokal (Poissant, 2006).

Efek negatif dari dengung harus dihilangkan karena seringkali melemahkan kemampuan identifikasi wicara. Strategi memperkuat komponen sinyal akustik tidak cukup untuk mengatasi efek tersebut. Dalam penelitian yang pernah dilakukan, cara untuk mengurangi dengung pada pengguna implan koklea menggunakan strategi pemilihan elektroda yang ada pada implan koklea (Hazrati, 2013). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi dengung adalah dengan menggunakan algoritma yang membatalkan dengung yang telah diterima yaitu dengan metode *dereverberant* (Outouzian, 2014).

Penelitian (Whitmal, 2009) mengenai pengaruh jarak sumber ke pendengar dan pengaruh *masking* pada pengguna implan koklea dengan dua percobaan pada dua ruang gema ukuran 79,3 m³ dan 175,9 m³ memberikan hasil bahwa adanya pengurangan jarak sumber ke pendengar tidak meningkatkan kemampuan dari implan koklea. Metode *Blind Binary Masking* mampu mengurangi pengaruh *reverberant* dengan nilai *reverberation time* (RT60) sebesar 0,8 detik dan meningkatkan nilai subjektif tes hingga 27,0% (Hazrati, 2013). Sehingga pada penelitian ini dilakukan evaluasi kinerja *dereveberation* untuk meningkatkan kualitas dan tanggapan kejelasan wicara implan koklea akibat pengaruh *reverberation time* yang panjang.

1.2 Permasalahan

Dari paparan latar belakang di atas, maka permasalahan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh waktu dengung yang panjang terhadap pengguna implan koklea?
- b. Apakah pengaruh waktu dengung yang panjang dapat dikurangi dengan menggunakan metode *dereverberation*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh waktu dengung yang panjang terhadap pengguna implan koklea.
- b. Mengetahui apakah pengaruh waktu dengung yang panjang dapat dikurangi dengan menggunakan metode *dereverberation*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data suara dalam Bahasa Indonesia untuk memudahkan responden memahami kalimat yang diujikan.
- b. Variasi stimuli yang diujikan yaitu berdasarkan kombinasi nilai waktu dengung ruangan yang berbeda.
- c. Variasi stimulus terdiri atas kata dan kalimat basis data Berbahasa Indonesia yang dikondisikan berada pada ruangan yang memiliki nilai waktu dengung yang berbeda.
- d. Seluruh responden berusia 18-23 tahun dan diasumsikan memiliki pendengaran yang normal.
- e. Tempat pengujian stimuli dilakukan di ruang kedap Laboratorium Vibrasi dan Akustik dengan asumsi tidak ada gangguan suara selain suara stimuli.

1.5 Manfaat Penelitian

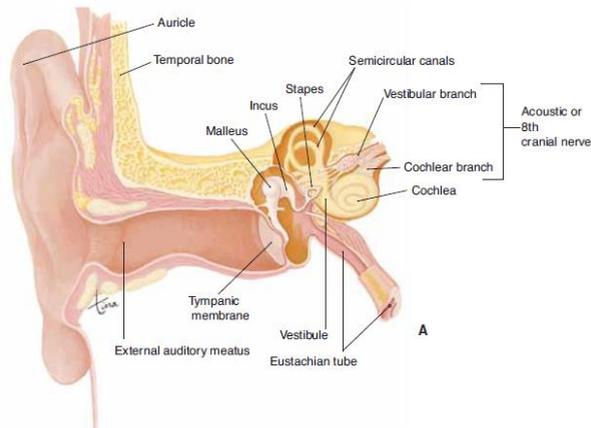
Penelitian ini bermanfaat bagi masyarakat khususnya kalangan akademisi dalam mengembangkan metode peningkatan kualitas suara dan *speech intelligibility* pada pengguna implan koklea karena adanya pengaruh waktu dengung atau *reverberation time* yang panjang.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Anatomi dan Fisiologi Telinga

Telinga manusia terdiri dari 3 bagian yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam seperti pada Gambar 2.1. Telinga manusia berperan sebagai indra pendengaran dan sistem keseimbangan.



Gambar 2. 1 Struktur Telinga (Scanlon, 2007)

Gambar 2.1 merupakan struktur anatomi telinga manusia yang terbagi menjadi telinga luar (terdiri dari daun telinga, saluran telinga dan gendang telinga), telinga tengah (terdiri dari tiga tulang pendengaran), dan telinga dalam (terdiri dari labirin dan koklea). Penjelasan lebih lengkap mengenai bagian-bagian telinga dijelaskan pada subbab berikut.

a. Telinga Luar

Telinga luar terdiri dari daun telinga (*pinna*), saluran telinga (*external auditory meatus*), dan gendang telinga (*tympanic membrane*). Daun telinga (*pinna*) berfungsi untuk mengumpulkan suara. Suara tersebut menuju saluran telinga

dan ditangkap oleh gendang telinga kemudian ditransmisikan dari telinga luar ke telinga tengah. Gendang telinga berbentuk membran tipis yang memisahkan telinga tengah dan telinga luar (Scanlon, 2007).

b. Telinga Tengah

Telinga tengah mentransmisikan getaran dari gendang telinga (*tympanic membrane*) menuju telinga dalam. Pada telinga tengah terdapat tiga tulang pendengaran (*ossicles auditory*) yaitu tulang martil (*malleus*), tulang landasan (*incus*), dan tulang sanggurdi (*stapes*). Getaran suara yang diterima oleh telinga (*tympanic membrane*) kemudian akan diteruskan ke *malleus*, *incus* dan *stapes* dan selanjutnya akan diterima oleh koklea yang berada di telinga dalam. Tiga tulang pendengaran menguatkan gelombang suara yang diterima oleh gendang telinga. Telinga tengah merupakan rongga berisi udara di dalam tulang temporalis yang terbuka melalui saluran eustachius ke nasofaring. Saluran eustachius akan terbuka ketika menguap, mengunyah dan menelan sehingga tekanan di kedua sisi gendang telinga seimbang (Scanlon, 2007).

c. Telinga Dalam

Telinga dalam terdiri dari dua bagian yaitu labirin dan rumah siput (koklea). Labirin adalah serangkaian saluran di dalam bagian *petrosal* tulang temporal. Di dalam saluran ini terdapat labirin membranosa yang dikelilingi oleh cairan yang disebut *perilimfe* dan *endolimfe*. Cairan ini terdapat di dalam struktur membran telinga dalam. Koklea merupakan saluran melingkar seperti rumah siput yang terbagi menjadi tiga bagian kanal yang berisi cairan. Getaran yang berasal dari gendang telinga diteruskan oleh tulang pendengaran yang menyebabkan tulang martil menutupi jendela oval. Getaran tersebut menyebabkan gerakan pada basilar membran dan merangsang sel-sel rambut di organ korti

yang kemudian menghasilkan sinyal listrik dan diteruskan ke otak melalui saraf pendengaran (Scanlon, 2007).

2.2 Gangguan Pendengaran

Gangguan pendengaran merupakan ketidakmampuan seseorang untuk mendengar pada kedua telinga atau salah satu telinga. Gangguan pendengaran dapat berdampak pada proses belajar dan perkembangan anak-anak, termasuk berbicara. Pada orang dewasa, gangguan pendengaran dapat mempengaruhi interaksi sosial (Waleed, 2015).

Gangguan pendengaran dapat diklasifikasikan atau didefinisikan dalam berbagai cara dan kategori. Definisi dan klasifikasi ini digunakan oleh studi *Global Burden of Disease* dan digunakan oleh WHO.

- Gangguan Pendengaran Ringan

Rata-rata, suara paling pelan yang dapat didengar orang dengan telinga yang memiliki gangguan pendengaran ringan adalah antara 25 dan 34 dB. Orang yang menderita gangguan pendengaran ringan biasanya akan mengalami kesulitan mengikuti percakapan terutama di lingkungan yang bising.

- Gangguan Pendengaran Sedang

Rata-rata, suara paling pelan yang dapat didengar orang dengan telinga yang terkena gangguan pendengaran sedang adalah antara 35 dan 49 dB. Orang yang menderita gangguan pendengaran sedang mengalami masalah dalam banyak situasi dan akan mengalami kesulitan untuk mengikuti percakapan. Orang dengan gangguan pendengaran sedang akan mendapatkan manfaat dari menggunakan alat bantu dengar.

- Gangguan Pendengaran Cukup Parah

Rata-rata, suara paling pelan yang dapat didengar orang dengan telinga yang terkena gangguan pendengaran cukup parah adalah antara 50 dan 64 dB. Orang yang menderita gangguan pendengaran cukup parah biasanya

akan mengalami kesulitan mendengar jika tanpa alat bantu dengar.

- Gangguan Pendengaran Parah

Rata-rata, suara paling pelan yang dapat didengar orang dengan telinga yang terkena gangguan pendengaran parah adalah antara 65 dan 79 dB. Orang yang menderita gangguan pendengaran parah sangat sulit mendengar dan biasanya harus menggunakan alat bantu dengar yang kuat. Seringkali mereka juga mengandalkan pembacaan bibir bahkan ketika mereka menggunakan alat bantu dengar.

- Gangguan Pendengaran Sangat Parah

Rata-rata, suara paling pelan yang dapat didengar orang dengan telinga yang terkena gangguan pendengaran sangat parah adalah antara 80 dB atau lebih. Orang yang menderita gangguan pendengaran yang sangat parah membutuhkan alat bantu dengar atau implan. Suara yang keras hanya dirasakan sebagai getaran.

Gangguan pendengaran disebabkan karena banyak faktor, beberapa penyebab faktor gangguan pendengaran berdasarkan WHO dan *Group Door Open* (Group n.d., WHO 2015) yaitu

- Faktor keturunan yang menyebabkan hampir 40% gangguan pendengaran pada anak-anak, terjadi karena lahir dari perkawinan antar dua individu yang memiliki hubungan erat.
- Kondisi kelahiran yang prematur merupakan salah satu penyebab gangguan pendengaran. Selain itu kurangnya berat badan dan kurangnya oksigen saat proses kelahiran juga diketahui sebagai faktor penyebab gangguan pendengaran.
- Infeksi ketika ibu mengandung seperti rubela dapat menyebabkan gangguan pendengaran. Selain itu penyakit meningitis, gondok, dan campak ketika kecil dapat menyebabkan hilangnya pendengaran.
- Obat-obatan seperti pengobatan infeksi malaria, tuberkulosis dan kanker dapat menyebabkan gangguan pendengaran permanen. Anak-anak yang menerima pengobatan dengan antibiotik *ototoxic* untuk pengobatan secara umum apabila

tidak diatur penggunaannya maka juga akan menyebabkan gangguan pendengaran dan hal ini sudah banyak terjadi di beberapa bagian dunia.

- *Noise*, yaitu suara keras yang terpapar dalam periode lama merupakan faktor yang sangat umum yang berakibat pada hilang atau berkurangnya pendengaran.

Derajat gangguan pendengaran dapat dihitung menggunakan indeks Fletcher yaitu dengan menghitung nilai rata-rata (*pure tone average* atau PTA) dari ambang dengar AC pada frekuensi 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz. Derajat gangguan pendengaran (*hearing loss*) dapat ditentukan berdasarkan kriteria menurut *International Standard Organization (ISO)* tahun 1999 sebagai berikut

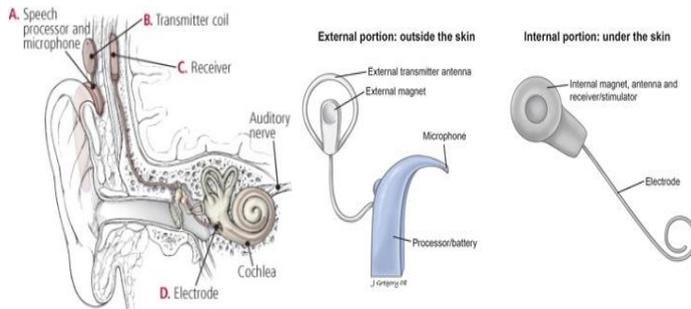
0 – 25 dB	: normal
> 25 – 40 dB	: gangguan pendengaran ringan
> 40 – 55 dB	: gangguan pendengaran sedang
> 55 – 70 dB	: gangguan pendengaran sedang berat
> 70 – 90 dB	: gangguan pendengaran berat
> 90 dB	: gangguan pendengaran sangat berat (<i>profound</i>)

Telinga merupakan alat pendengaran yang digunakan untuk memfasilitasi komunikasi dan mendorong interaksi sosial. Sehingga setiap orang dapat menjalin hubungan dan berpartisipasi dalam kehidupan sehari-hari. Namun, ketika terjadi gangguan pendengaran maka kegiatan komunikasi dalam kehidupan akan terganggu (advancedbionics 2017, WHO 2015). Pada anak-anak gangguan pendengaran akan mempengaruhi pada kejelasan bahasa berkaitan dengan perkembangan anak dan pengaruh akademik.

2.3 Implan Koklea

Ketulian dapat terjadi karena rusaknya reseptor suara. Sehingga menyebabkan getaran yang dihasilkan oleh gendang telinga tidak dikenali oleh reseptor suara. Oleh karena itu, ide mengenai implan koklea ini muncul. Implan koklea menggantikan fungsi dari reseptor suara yaitu menghasilkan

sinyal listrik dari sinyal mekanik. Pada Gambar 2.2 terlihat komponen-komponen yang menyusun implan koklea. Proses terdengarnya suara melalui implan koklea diawali dengan suara dari sekitar ditangkap oleh mikrofon (eksternal) yang kemudian dikirimkan ke *sound processor* (eksternal). Suara diproses menjadi informasi digital. Informasi digital ini dikirim melalui *transmitter antenna* (eksternal) ke *receiver antenna* (internal) yang ditanamkan di tengkorak melalui operasi. Sinyal tersebut diteruskan ke *electrode array* (internal) yang disisipkan ke dalam koklea. *Electrode array* memancarkan sinyal elektrik ke saraf pendengaran. Dengan proses ini maka otak dari pengguna implan koklea tetap mendapatkan rangsangan elektrik. Implan koklea memberikan mekanisme mendengar yang baru untuk pasien. Dan dilanjutkan dengan proses rehabilitasi pasien sehingga mereka dapat mendengar suara.



Gambar 2. 2 Komponen Penyusun Implan Koklea (Hill, 2012)

Pada Gambar 2.2 terlihat komponen-komponen implan koklea. Suara dari luar akan ditangkap oleh mikrofon dan oleh *speech processor* akan disaring secara selektif yang kemudian oleh *transmitter*, sinyal suara tersebut disalurkan ke *receiver*. Oleh *receiver* sinyal suara diubah menjadi gelombang elektrik dan dikirimkan ke elektroda di dalam koklea. Elektroda-elektroda dalam skala timpani koklea akan menyalurkan gelombang suara ke saraf dan diteruskan langsung ke otak melalui sistem saraf

pendengaran. Indikasi dilakukan implan koklea adalah pasien yang mengalami tuli *sensorineural* berat (ambang dengar antara 70-90 dB) atau sangat berat (ambang dengar diatas 90 dB), terjadi pada kedua telinga, tidak mendapatkan manfaat yang berarti dari alat bantu dengar, dan tidak ada kontra indikasi pemasangan implan. Implan koklea memberikan mekanisme mendengar yang baru untuk pasien dan dilanjutkan dengan proses rehabilitasi dengan *Audio Verbal Therapy* sehingga pasien dapat mendengar dan mengerti suara.

Terapi auditori verbal mencakup lima aspek yaitu mendengar (*audition*), bicara (*speech*), bahasa (*language*), berpikir logis (*cognitive*), dan komunikasi (*communication*). Kelima aspek tersebut dikembangkan secara bersama-sama karena memegang peranan penting dalam berkomunikasi dan berbicara secara verbal. Jika anak hanya dilatih mendengar saja maka ia tidak akan mampu memahami bahasa atau percakapan. Untuk memahami percakapan, anak harus tahu susunan kata, arti dari masing-masing kata, mampu untuk memahami bahasa itu sendiri dan mampu untuk menganalisis. Pada akhir terapi auditori verbal akan dilakukan penilaian komunikasi yang mencakup persepsi dan ekspresif dalam berbicara dan berbahasa (Clark, 2003).

Sejak diperkenalkan *3M House Single-Electrode* pada implan koklea di tahun 1980, perkembangan implan koklea dalam perangkat internal, eksternal dan pemrosesan suara mengalami peningkatan nilai dari 0% hingga rata-rata sampai lebih dari 90% dengan sistem saat ini. Implan koklea digunakan untuk mengembalikan fungsi pendengaran bagi penderita gangguan pendengaran *sensorineural* serta akan meningkatkan tingkat pemahaman pembicaraan. Tingkat pemahaman pembicaraan ini salah satunya juga dipengaruhi dari kebisingan latar belakang. Selain bagi pengguna implan koklea, yang hanya memiliki satu implan tidak dapat mengakses informasi secara spasial. Pada pengguna implan koklea informasi yang dibawa tergantung pada besarnya amplitudo yang dibawa dan adanya perbedaan waktu

dari sinyal suara langsung yang disampaikan karena adanya faktor dengung yang memengaruhi sehingga harus dikurangi (Seeber, 2016).

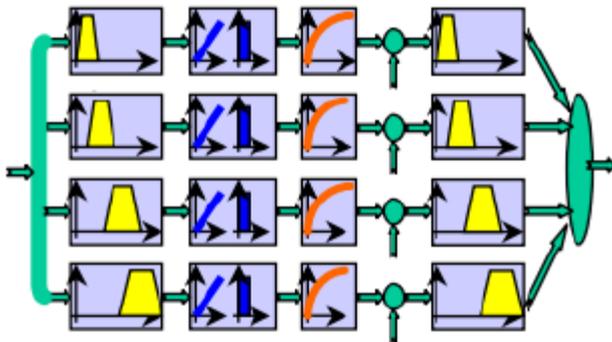
Apabila pasien telah memenuhi syarat indikasi untuk implan koklea maka dapat dilakukan penilaian lebih lanjut sebagai persiapan operasi implan koklea. Operasi implan koklea pada anak melibatkan satu tim yang terdiri dari ahli otologi, audiologi, anak, radiologi, anestesi, psikolog, dan terapis wicara. Tim ini akan saling bekerja sama dan memberikan masukan-masukan dengan cakupan yang luas dan perspektif yang berbeda sesuai dengan performa dan kebutuhan anak calon implan koklea. Kandidat implan koklea harus menjalani evaluasi sebagai penilaian dan untuk meyakinkan keberhasilan dari operasi implan koklea. Pasien yang telah melakukan operasi implan koklea selanjutnya melakukan evaluasi rehabilitasi dengan *Auditory Verbal Therapy (AVT)* yang merupakan penilaian penggunaan implan koklea pada setiap pasien yaitu dengan menunjukkan hasil representatif, bahasa, dan ekspresi dalam kemampuan berkomunikasi yang baik (Ekorini, 2016).

Terdapat beberapa faktor yang mendukung untuk seorang anak dilakukan implan koklea dan mendapatkan hasil sesuai dengan yang diharapkan yaitu umur saat terjadi ketulian (*prelingual* atau *postilingual*), durasi gangguan pendengaran, etiologi ketulian, umur saat menggunakan alat bantu dengar sebelum implan koklea, sisa pendengaran pra implan koklea, dan umur saat dilakukan implan koklea, teknologi implan koklea, program rehabilitasi dan dukungan anggota keluarga (Clark, 2003).

2.4 Vocoder

Vocoder merupakan alat yang efektif untuk memprediksi pola suara pada pengguna implan koklea. Vocoder berguna untuk simulasi akustik dimana sinyal suara diproses serupa dengan suara yang didengar oleh pengguna implan koklea. Pemrosesan sinyal suara tersebut menggantikan fungsi koklea yang berfungsi

mengubah sinyal suara menjadi sinyal listrik yang akan diteruskan menuju sistem saraf pendengaran. Sinyal akustik dianalisis pada pita frekuensi yang berbeda dan informasi kalimat dari setiap frekuensi direpresentasikan ke elektroda sepanjang skala timpani sebagai frekuensi yang mewakili (Shannon, 2002). Diagram vocoder sama seperti *bank filter* dari *bandpass filter* dengan frekuensi *cutoff* tertentu dan kemudian ditetapkan sesuai dengan *bandwith* atau lebar pita pendengaran (Arifianto, 2013).



Gambar 2.3 *Noise Band Vocoder*

Gambar 2.3 merupakan skema pemrosesan pada *noise band vocoder*. Sinyal suara dilewatkan pada filter *bandpass* dimana masing-masing memiliki lebar pita antara 100 Hz dan 300 Hz, output dari setiap filter kemudian diperbaiki dengan filter *lowpass*. Filter *bandwith lowpass* yang dihasilkan dipilih sesuai dengan variasi waktu pada karakteristik saluran vokal.

2.5 Efek Dari Jumlah Elektroda

Berapa banyak elektroda yang diperlukan untuk mendapatkan hasil tanggapan kejelasan suara yang baik? Kompleksitas perangkat implan akan meningkatkan jumlah elektroda sehingga membutuhkan biaya yang banyak pula. Apakah terdapat kondisi di mana jumlah elektroda yang meningkat tidak akan memberikan manfaat lebih lanjut?

Dapatkah pendengar implan koklea memanfaatkan semua informasi spektral yang tersaji pada elektroda mereka? Apakah dengan elektroda yang banyak akan bermanfaat ketika ada bising? Bagian ini akan meninjau studi pengenalan suara sebagai fungsi dari jumlah saluran spektral atau jumlah elektroda (Shannon, dkk, 2003).

Secara historis, pengenalan dan kualitas bicara telah diukur sebagai fungsi dari jumlah pita frekuensi yang digunakan untuk merekonstruksi sinyal ucapan yang ditransmisikan. Misalnya, (Hill, 1968) menganalisis ucapan ke dalam jumlah pita frekuensi yang berbeda dan kemudian menggunakan *envelope* dari setiap pita. Mereka menemukan bahwa enam hingga delapan sinyal sinusoid yang dimodulasi memungkinkan untuk pengenalan bicara yang baik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Shannon, dkk, 1995) yaitu dengan mengukur kinerja konsonan, vokal, dan kalimat pada subjek pendengar normal yang diperdengarkan melalui simulasi *noise-band* dari implan koklea yang memiliki satu hingga empat elektroda atau saluran. Kinerjanya meningkat secara drastis antara satu hingga empat dengan empat saluran memberikan tingkat kinerja yang paling tinggi (>90%) dibandingkan ketiga saluran lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Dorman, 1998) yaitu dengan mengukur pengenalan suara untuk vokal, konsonan, dan kalimat pada pendengar normal sebagai fungsi dari jumlah pita frekuensi yang digunakan sebagai representasi. Mereka menggunakan kedua pembawa sinusoid dan pita kebisingan seperti pada (Shannon, dkk, 1995) dan menemukan hasil yang sama untuk kedua operator. Yaitu kinerja meningkat ketika jumlah pita meningkat hingga sekitar 6 pita frekuensi. Singkatnya, pada pendengar normal menunjukkan bahwa hanya sekitar 4-6 pita informasi frekuensi yang diperlukan untuk memungkinkan pengenalan suara meningkat tinggi. Setidaknya dalam kondisi yang tenang atau ketika berada di ruang kedap suara.

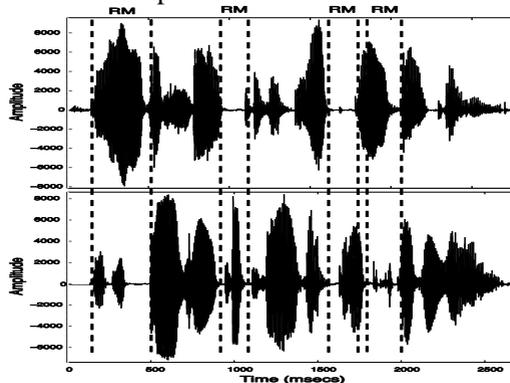
Secara keseluruhan, terdapat konsistensi dari semua penelitian yang telah dilakukan. Hasil implan menunjukkan bahwa sekitar enam saluran atau *channel* saluran informasi spektral dikatakan cukup untuk pengenalan suara yang baik dan dalam kondisi sunyi. Kinerja meningkat dengan cepat ketika jumlah saluran ditingkatkan (Shannon, dkk, 2003).

2.6 Release of Masking

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Indra, pada saat suara pembicaraan yang hendak didengar oleh pengguna implan koklea (target) dengan suara percakapan lainnya (*masker*) bercampur, maka sinyal suaranya akan saling bertumpukan. Dalam hal ini tingkat kejelasan (*intelligibility index*) untuk target akan jauh berkurang akibat bercampurnya sinyal tersebut. Situasi seperti ini dikenal sebagai fenomena *cocktail party*. Seperti pada Gambar 2.4 pada sinyal suara percakapan berupa kalimat dalam domain waktu, terdapat dua bagian yaitu lembah dan bukit. Pada bagian bukit sinyal suara memiliki amplitudo yang tinggi, sebaliknya pada bagian lembah sinyal suara memiliki amplitudo yang rendah. Pada saat bukit dari suara target bertumpuk dengan lembah dari suara *masker*, maka terjadi peningkatan tingkat kejelasan (*speech intelligibility*) yang mengakibatkan suku kata sebelumnya menjadi mudah untuk didapatkan informasinya. Fenomena ini disebut *release of masking*. Pada penelitian sebelumnya, orang dengan pendengaran normal menunjukkan peningkatan yang signifikan ketika diperdengarkan suara yang mengandung efek *release of masking*. Namun orang dengan gangguan pendengaran akan merasa kesusahan dalam mengidentifikasi suara apabila terdapat *masking* (Festen, 1990). Diperkirakan bahwa pendengar normal dapat memanfaatkan peningkatan rasio *target-to-masker* dalam spektral dan penurunan temporal *masker*. Namun sebaliknya, orang dengan gangguan pendengaran memiliki selektivitas frekuensi yang lebih buruk sehingga kurang bisa memanfaatkan peningkatan rasio *target-to-masker* dalam spektral dan penurunan temporal *masker*.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan pencampuran dengan menggunakan *database* berbahasa Inggris (Hadi, 2010). Disimpulkan *release of masking* dapat berfungsi baik pada implan koklea. Namun jumlah responden dalam penelitian tersebut terlalu sedikit karena terkendala masalah *native* yang tersedia.

Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya dimulai pembuatan *database* berbahasa Indonesia. *Database* berbahasa Indonesia memudahkan penelitian *release of masking* pada implan koklea. *Native* dalam penelitian *release of masking* berguna agar hasil yang didapatkan adalah benar-benar nilai dari tingkat kejelasan (*speech intelligibility*) bukan karena faktor ketidaktahuan dari responden.



Gambar 2. 4 Daerah terjadinya *release of masking* (Arifianto, 2013)

Gambar 2.4 merupakan contoh fenomena *release of masking*. Keterangan RM dan garis putus-putus merupakan daerah terjadinya fenomena *release of masking*. Dimana ketika bukit dari sinyal suara target bertumpuk dengan lembah dari sinyal suara *masker*.

2.7 Reverberation

Perpanjangan bunyi sebagai akibat pemantulan berulang-ulang dalam ruang tertutup setelah sumber bunyi dimatikan

disebut dengung yang memberikan pengaruh tertentu pada kondisi mendengar. Dengung adalah aspek subjektif akustik ruang yang banyak dikenal. Ketika sebuah ruangan terlalu dengung maka kejelasan pengucapannya akan berkurang. Dengung pada umumnya dipengaruhi oleh jumlah energi pantulan yang terjadi dalam ruangan. Jumlah energi pantulan dalam ruangan berkaitan dengan karakteristik permukaan yang menyusun ruangan tersebut. Ruangan yang keseluruhan permukaannya bersifat menyerap energi suara disebut ruang anti dengung. Sedangkan ruangan yang keseluruhan permukaannya bersifat memantulkan suara disebut ruang dengung.

Dengung merupakan satu ciri akustik yang sangat jelas dalam suatu ruangan tertutup. Barangkali setiap orang secara tidak sengaja pernah mengamati suara di dalam ruangan besar yang ditimbulkan oleh suatu sumber suara lantas secara tiba-tiba sumber suara tersebut dihentikan. Suara dalam ruangan tidak secara langsung menghilang tetapi masih dapat didengar untuk sementara waktu. Namun secara perlahan kekerasan suaranya menurun hingga akhirnya menghilang. Hal ini terjadi karena adanya refleksi dan porsi perlambatan suara yang sampai ke telinga setelah sumber suara dihentikan.

Besaran standar yang digunakan dalam pengendalian dengung disebut *reverberation time* atau waktu dengung (Doelle, 1993). *Reverberation time* atau waktu dengung yang merupakan ukuran objektif dari dengung diciptakan oleh W.C. Sabine. *Reverberation time* menunjukkan seberapa lama energi suara dapat bertahan di dalam ruangan yang dihitung dengan cara mengukur waktu peluruhan energi suara dalam ruangan. Atau menurut (Cowan, 2007) dengung didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh bunyi dalam ruangan untuk berkurang 60dB setelah bunyi berhenti.

Reverberation time dapat dihitung dengan mudah apabila memiliki data volume dan luas permukaan serta karakteristik absorpsi setiap permukaan yang ada dalam ruangan. Namun juga

terdapat cara lain untuk menghitung *reverberation time* yaitu dengan menggunakan energi impuls. Nilai *reverberation time* yang dihitung menggunakan energi impulse didapatkan dengan cara merekam respon ruangan terhadap sinyal impulse yang dibunyikan didalamnya. Dengan cara ini nilai *reverberation time* di setiap titik dalam ruangan dapat diketahui.

Pengukuran atau perhitungan parameter waktu dengung suatu ruangan merupakan metode pengukuran konvensional dan klasik karena sudah lebih dari 100 tahun yang lampau sejak metode ini dilakukan oleh Sabine. Berdasarkan rumus Sabine maka persamaannya dapat dituliskan seperti Persamaan (2.1) berikut

$$T_s = 0,164 \frac{V}{S\alpha} \quad (2.1)$$

Dimana:

V = Volume ruangan

S = Luas permukaan ruangan

α = Koefisien serap

Waktu dengung dihubungkan dengan refleksi pada ruangan yang tertutup. Dari persamaan diatas, penyerapan suatu permukaan diperoleh dengan mengalikan luas S dengan koefisien penyerapan α .

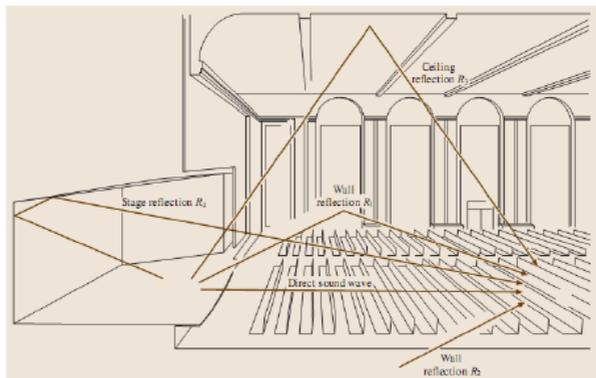
Terdapat dua variabel bidang penyerap suara yang memengaruhi panjang waktu dengung yaitu luas permukaan dan koefisien serap. Semakin luas material penyerap suara yang digunakan maka semakin pendek waktu dengungnya. Besarnya koefisien serap material beragam menurut frekuensi suaranya. Jumlah orang yang ada di dalam ruangan juga termasuk sebagai faktor penyerap bunyi (Agustinus, 2007).

Untuk dapat mengukur setiap penurunan sangat penting untuk memiliki sumber suara dengan tingkat tekanan bunyi lebih dari 60dB di atas *background noise*. Waktu dengung biasanya diukur dari frekuensi 1/3 oktaf dari 100 Hz hingga 5000 Hz atau 1

pita oktaf dari 125 Hz hingga 4000 Hz. Berdasarkan ISO:3382-2 penurunan tingkat tekanan bunyi dievaluasi dari -5dB hingga -35dB yang disebut dengan T30.

2.8 Room Impulse Response

Sumber dasar informasi mengenai suara yang dapat didengar di dalam ruang disebut *impulse response*. Sinyal ini dapat menunjukkan semua informasi tentang akustik di dalam ruang antara sumber dan posisi penerima.



Gambar 2. 5 Diagram ilustrasi *impulse response* di dalam ruangan (Gade, 2007)

Bunyi dikeluarkan oleh sumber bunyi di atas panggung, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Gelombang sferis dari sumber merambat ke segala arah. Bunyi pertama yang didengar di posisi pendengar secara langsung dari sumber bunyi disebut bunyi langsung. Komponen dari gelombang yang dipantulkan sekali atau beberapa kali oleh permukaan ruang atau benda yang ada di ruangan disebut bunyi pantul. Bunyi pantul datang lebih lambat daripada bunyi langsung. Umumnya bunyi pantul lebih lemah karena intensitas bunyinya berbanding terbalik dengan luasan yang ditempuh gelombang bunyi dan energi bunyi yang diserap oleh permukaan ruang atau benda yang ada di dalam

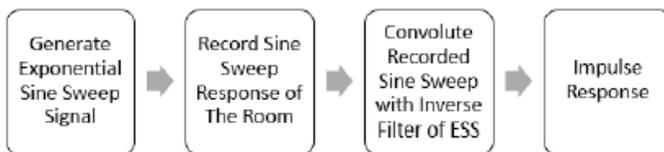
ruangan. Gelombang bunyi akan diteruskan dengan cara dipantulkan sampai ke penerima hingga energinya habis karena diserap oleh permukaan ruangan atau benda yang ada di dalamnya (Gade, 2017).

Impulse response dari ruang akustik merupakan salah satu karakter penting. Digambarkan dalam karakteristik *linear time invariant* (LTI) suatu sistem pada semua frekuensi. *Impulse response* menggambarkan perilaku keluaran terhadap perubahan sinyal masukan.

Impulse response merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan medan suara binaural suatu tempat. Metode dengan mendapatkan respon ruangan ketika sinyal impuls dibunyikan. Respon ruangan didapatkan dengan membandingkan sinyal impuls yang telah berinteraksi dengan ruangan terhadap sinyal input impuls. Pengukuran *impulse response* ruangan merupakan metode baru dalam pengukuran akustik ruang berdasarkan ISO 18233 yaitu *Maximum Length Sequence Method* (MLS) dan *Exponential Sine Sweep* (ESS).

ESS mempunyai keunggulan jika dibandingkan menggunakan *linear sine sweep* seperti metode MLS dan IRS. Metode ESS menggunakan sinyal *swept sinusoidal* yang berubah secara eksponensial untuk eksitasi kondisi ruangan dan dekonvolusi aperiodik untuk mengekstrak *impulse response* dari respon ruangan yang terekam (Farina, 2000).

Gambar 2.6 merupakan diagram blok yang menjelaskan cara kerja ekstraksi *impulse response* menggunakan teknik ESS:



Gambar 2. 6 Proses menentukan *impulse response*

Berdasarkan Gambar 2.6 untuk mendapatkan *impulse response* ruangan yaitu dengan membangkitkan sinyal *exponential sine sweep* (ESS) di dalam ruangan bisa menggunakan *speaker*. Lalu sinyal ESS tersebut direkam menggunakan mikrofon. Kemudian sinyal ESS yang terekam dikonvolusi dengan *inverse filter* dari sinyal ESS itu sendiri menggunakan *software* Matlab sehingga di dapatkan *impulse response* sebuah ruangan.

Untuk mendapatkan suatu sinyal *impulse response* $h(t)$ perlu dilakukan dekonvolusi terhadap sinyal acuan $s(t)$. Pada proses ekstraksi *impulse response*, proses konvolusi antara sinyal terekam dan *inverse filter* disebut juga sebagai proses dekonvolusi. Persamaan (2.2) merupakan persamaan untuk mendapatkan sinyal *impulse response* sebagai berikut

$$h(t) = s(t) * f(t) \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) menggambarkan *impulse response* yang ideal terlepas dari distorsi sinyal. Karena kita berhadapan dengan sistem fisik maka selalu ada komponen eror atau *noise* yang masuk sinyal terekam. Masalah terbesar terjadi akibat respon *speaker* yang tidak ideal selama proses pembangkitan suara (seperti distorsi suara pada frekuensi rendah) dan *noise* luar yang masuk selama proses perekaman. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Farina, distorsi harmonik selalu terjadi didapan sinyal *impulse response*, sehingga distorsi tersebut mudah ditemukan dan sinyal tersebut dapat dihilangkan dengan cara memotongnya tanpa mempengaruhi respon linier sinyal (Farina, 2000).

2.9 Efek *Reverberation Time* pada Pengguna Implan Koklea

Efek waktu dengung mempengaruhi persepsi konsonan dan vokal sehingga mengurangi kejelasan suara oleh pendengar implan koklea (Kokkinakis, 2013). Penelitian yang pernah dilakukan menjelaskan ketika nilai $RT60 > 0,5$ detik, seiring

penambahan linier nilai RT60 maka terjadi pengurangan kejelasan ucap secara eksponensial. Waktu dengung memengaruhi kejelasan ucap karena energi suara dengung menciptakan suara temporal dan mengotori percakapan secara tumpang tindih (Whitmal, 2009).

Penelitian yang pernah dilakukan yaitu dengan simulasi suara yang diperdengarkan pada pengguna implan koklea dengan menggunakan vocoder akibat adanya *reverberant* dan *masking* serta kombinasi dari keduanya pada kalimat. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa adanya waktu dengung sebesar 1 detik menyebabkan penurunan kejelasan ucap sebesar 60% dibandingkan pada ruang yang tenang. Selain itu pengaruh dengung juga mempengaruhi perbedaan ucapan pada konsonan (huruf mati) dan vokal (huruf hidup) yang disebabkan adanya *overlap masking* dan *self masking* (Poissant, 2005). Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa adanya korelasi yang tinggi dari nilai kejelasan kalimat yang diucapkan dengan keadaan ruang *reverberant* yaitu sebesar 0,98.

2.10 Dereverberation

Dereverberation merupakan metode yang digunakan untuk menghilangkan efek *reverberation* dari sinyal suara. Metode ini digunakan pada alat komunikasi maupun pada alat bantu dengar dimana waktu dengung ruangan mempengaruhi kejelasan suara (ucap) dan deteksi suara oleh pengguna. Metode *dereverberation* dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu algoritma yang secara langsung memperkirakan sinyal suara langsung dan efek lingkungan lainnya untuk menentukan filter yang sesuai yang dikaitkan dengan teknik (*reverberation suppression*) dan yang kedua yaitu dengan menentukan filter yang terbaik sesuai dengan sinyal yang diamati (*reverberation cancellation*).

a. Reverberation Suppression Technique

Reverberation suppression techniques adalah metode *blind dereverberation* dimana algoritma yang digunakan hanya memiliki sinyal yang diterima dan tidak memiliki

parameter dari sinyal akustik yang menimbulkan dengung. Dalam penelitian Huang dan Kyriakakis yang dikutip dari penelitian (Outouzian, 2014) menjelaskan mengenai pendekatan secara *blind* dekonvolusi pada algoritma konstan digunakan untuk menghubungkan filter *linier predictive coding* (LPC) untuk melakukan *dereverberation* sebuah sinyal audio.

b. Reverberation Cancellation Technique

Teknik yang digunakan untuk meningkatkan sinyal suara asli dengan menekan sisa dengung dan bising latar belakang untuk *single microphone acoustic. Reverberation cancellation* membutuhkan *room impulse response* dalam teknik ini terbagi dalam sub kategori yang tergantung dari sumber atau elektroda akustik yang digunakan.

2.11 *Blind Dereverberation* menggunakan Maximum Kurtosis dari sinyal residual

Metode *dereverberation* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *blind dereverberation* dengan memaksimalkan kurtosis dari sinyal residual untuk mengurangi efek *reverberant*. Kurtosis merupakan ukuran puncak dari sebuah sinyal. Pada penelitian ini akan memaksimalkan kurtosis atau puncak dari sinyal residual *reverberant*. Kurtosis dari sinyal akan meningkat apabila efek *reverberant* semakin berkurang.

a. LP (*Linear Prediction*) residual dari sinyal suara

Sinyal LP residual merupakan satuan yang efisien digunakan untuk suara yang telah tercampur efek dengung dan sudah banyak algoritma yang berbeda-beda digunakan untuk mengurangi suara yang tercampur efek dengung (Tomar, 2012). Sinyal LP residual didapatkan dari melakukan *inverse filter* sinyal suara menggunakan analisis *Linear Prediction Coefficient* (Yegnarayana, 2006) menggunakan *software* Matlab. LP residual merupakan eror prediksi yang didapatkan dari selisih antara sinyal sampel prediksi dan sinyal sampel yang asli.

Sinyal suara asli $s(n)$ dikonvolusi dengan *room impulse response* $g(n)$, sehingga sinyal suara *reverberant* dapat dimodelkan dengan Persamaan (2.3) di bawah ini

$$x(n) = g(n) * s(n) \quad (2.3)$$

Kemudian sinyal suara dapat dimodelkan dengan Persamaan (2.4) berikut ini

$$s(n) = -\sum_{k=1}^p ak s(n-k) + u(n) \quad (2.4)$$

Dimana,

ak = Koefisien filter

$u(n)$ = Sinyal eksitasi

Dengan mengasumsikan sinyal prediksinya sebagai $\tilde{s}(n)$ maka sinyal prediksinya dapat dimodelkan dengan Persamaan (2.5) sebagai berikut

$$\tilde{s}(n) = -\sum_{k=1}^p bk s(n-k) \quad (2.5)$$

Dimana,

bk = Koefisien prediksi linear (LP)

Untuk $ak = bk$, maka eror prediksinya adalah, $e(n) = s(n) - \tilde{s}(n)$.

Eror prediksi disebut dengan LP residual. Sehingga prediksi linier dari sinyal *reverberant* dapat dimodelkan dengan Persamaan (2.6) sebagai berikut

$$x(n) = -\sum_{k=1}^p hk x(n-k) + e_x(n) \quad (2.6)$$

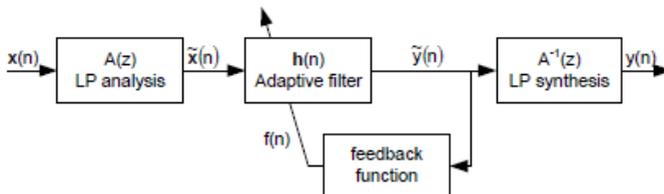
Dimana,

$e_x(n)$ = LP residual dari sinyal *reverberant*

Reverberation memengaruhi sinyal eksitasi, hal ini dapat dihilangkan dengan memodifikasi sinyal LP residual untuk mendapatkan $e_x(n) = u(n)$ dan sinyal suara yang bersih dapat disintesis dari sinyal residual. LP residual dari sinyal suara bersih terlihat seperti *impulse train*, interval antara impuls terlihat seperti sinyal sinusoid teredam (B. Yegnarayana, 2006). LP residual dari suara *reverberant* seperti *white noise* yaitu puncak suara yang bersih tanpa efek telah hilang. Penulis ingin mengaitkan properti ini ke parameter statistik yaitu kurtosis.

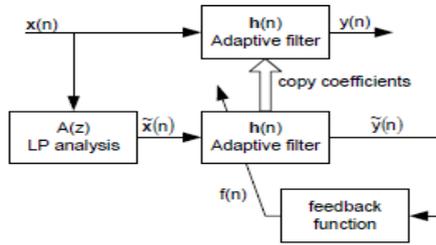
b. Maksimum kurtosis untuk *dereverberation*

Ide pokok dari metode ini adalah dengan memaksimalkan kurtosis dari LP residual yang didapat dari sinyal *reverberant* untuk mendapatkan hasil *dereverberation*. Blok diagram dari metode ini dapat dilihat pada Gambar 2.7. Filter *adaptive* $h(n)$ dikontrol dengan fungsi *feedback* $f(n)$. LP residual yang telah difilter yaitu $\tilde{y}(n)$ digunakan untuk mensintesis sinyal hasil *dereverberation* $y(n)$. Diasumsikan bahwa koefisien prediktor didapat dari analisis LP yang tidak dipengaruhi oleh *reverberation* dan dapat digunakan untuk mensintesis *clean speech* dari residual yang telah difilter.



Gambar 2. 7 Blok diagram algoritma untuk *dereverberation*
(Tomar, 2012)

Diagram blok pada Gambar 2.8 menjelaskan tentang pendekatan yang kedua yaitu dengan menduplikat koefisien filter *adaptive* secara langsung ke filter sinyal *reverberant* untuk mendapatkan sinyal suara *dereverberation*.



Gambar 2. 8 Diagram blok modifikasi (Tomar, 2012)

Kurtosis dari $\tilde{y}(n)$ dapat dimodelkan dengan Persamaan (2.7) sebagai berikut

$$J(n) = \frac{E|\tilde{y}^4(n)|}{E^2|\tilde{y}^2(n)|} - 3 \quad (2.7)$$

Gradient $J(n)$ didapatkan melalui Persamaan (2.8) sebagai berikut

$$\frac{\partial J}{\partial h} = \left(4\tilde{y} \frac{E|\tilde{y}^2|\tilde{y}^2 - E|\tilde{y}^4|}{E^3|\tilde{y}^2|} \right) \hat{x} = f(n)\hat{x}(n) \quad (2.8)$$

Dengan $f(n) = \frac{E|\tilde{y}^2|\tilde{y}^2 - E|\tilde{y}^4|}{E^3|\tilde{y}^2|}$

Dimana,

$f(n)$ = Fungsi feedback yang digunakan untuk mengontrol filter *update*

Filter *update* dapat ditulis dalam Persamaan (2.9) sebagai berikut

$$h(n+1) = h(n) + \mu f(n)\tilde{x}(n) \quad (2.9)$$

Dimana,

μ = *Step-size*

Nilai yang diharapkan dapat dihitung dengan Persamaan (2.10) dan Persamaan (2.11) sebagai berikut

$$E|\tilde{y}^2(n)| = \beta E|\tilde{y}^2(n-1)| + (1 - \beta)\tilde{y}^2(n) \quad (2.10)$$

$$E|\tilde{y}^4(n)| = \beta E|\tilde{y}^4(n-1)| + (1 - \beta)\tilde{y}^4(n) \quad (2.11)$$

Dimana parameter β adalah faktor pembebanan yang mengontrol *smoothness* dari kurva.

2.12 Pengujian Subjektif

Metode subjektif yang digunakan untuk mengevaluasi sinyal suara hasil pemrosesan yaitu dengan metode *Mean Opinion Score* (MOS). Metode MOS untuk mengukur kualitas sistem adalah berdasarkan rekomendasi ITU-T.P800. Pengujian dilakukan dengan cara meminta naracoba untuk memberikan penilaian dengan *Absolute Category Rating* (ACR) dengan rentang nilai 1-5 sesuai dengan kategori. Nilai yang telah diberikan oleh naracoba kemudian di rata-rata untuk mendapatkan seluruh nilai ACR.

Tabel 2. 1 Kategori Penilaian ACR

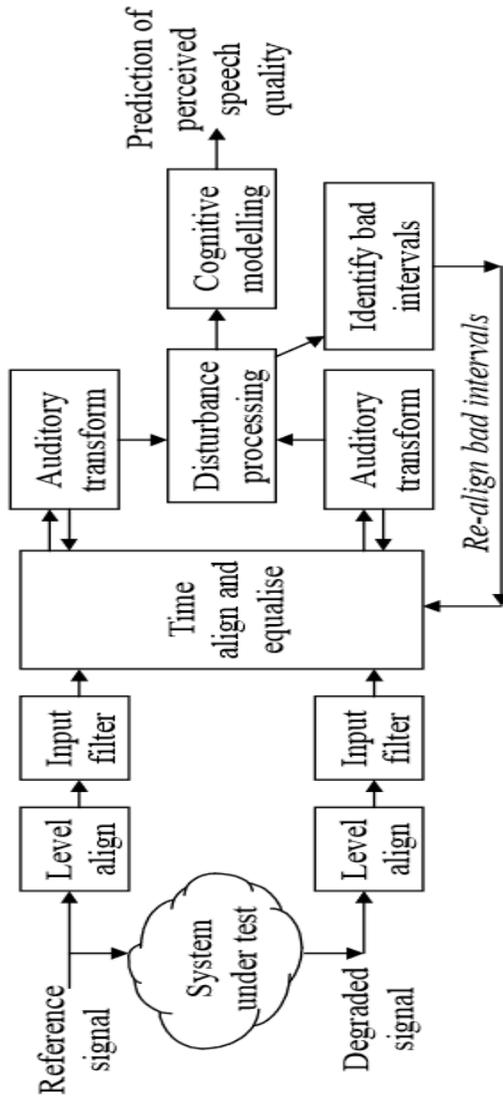
Kategori	Nilai
Sangat Baik	5
Baik	4
Cukup	3
Buruk	2
Sangat Buruk	1

Tabel 2.1 merupakan tabel kategori penilaian *Absolute Category Rating* (ACR) yang digunakan sebagai penilaian terhadap kualitas suara hasil pemrosesan secara subjektif. Kategori ACR memiliki rentang nilai 1-5 dengan nilai 1 berarti kualitas suara sangat buruk, nilai 2 menunjukkan bahwa kualitas suara buruk, nilai 3 adalah kualitas suara cukup baik untuk didengarkan, nilai 4 menunjukkan kualitas suara hasil pemrosesan baik untuk didengarkan naracoba, dan nilai 5 berarti kualitas

suara hasil pemrosesan sangat baik ketika didengarkan oleh naracoba.

2.13 Penilaian Objektif

Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) adalah metode untuk mengevaluasi kualitas suara secara obyektif. Algoritma pemrosesan PESQ ditunjukkan pada Gambar 2.9. Berdasarkan blok diagram algoritma PESQ, metode mengevaluasi kualitas suara ini yaitu dengan menyetarakan level (amplitudo) dari sinyal asli dan sinyal uji (yang sudah diproses). Kemudian sinyal tersebut di-filter (menggunakan *Fast Fourier Transform*). Kedua sinyal tersebut di sejajarkan waktunya (memperkecil *delay* yang terjadi antara kedua sinyal). Setelah dilakukan pengkondisian, kedua sinyal tersebut dimasukkan ke *auditory transform*. *Auditory transform* ini memodelkan pendengaran manusia. Hal yang dijadikan parameter adalah adanya perbedaan keseimbangan frekuensi dan pita kekerasan suara (*loudness*) antara sinyal asli dan sinyal hasil pemrosesan. Jika hasilnya masih terlalu jauh dapat dimungkinkan *delay* yang terjadi masih cukup lebar sehingga dimasukkan lagi ke penyejajar waktu. Sehingga didapatkan nilai PESQ nya. Nilai PESQ berada pada rentang (-0,5)-4,5 dengan nilai 4,5 adalah menunjukkan kualitas yang terbaik (UNION 2001).

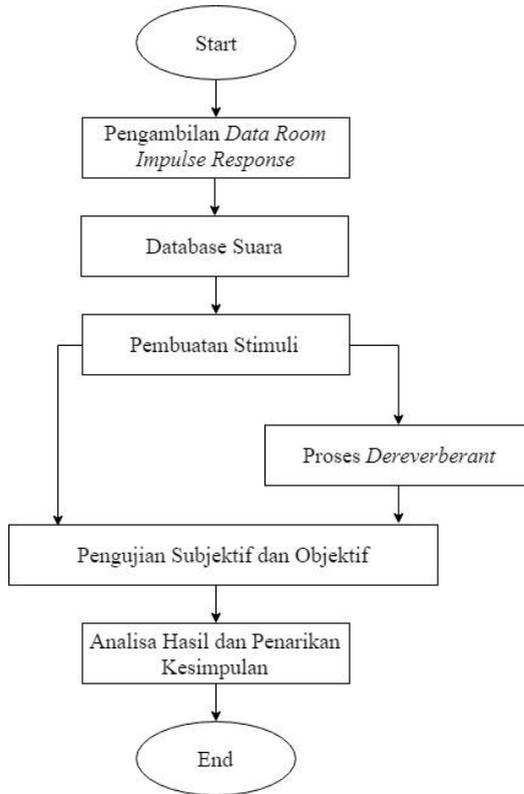


Gambar 2. 9 Algoritma PESQ

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah–langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1, penelitian dilakukan dengan melakukan pengambilan data *room*

impulse response untuk mendapatkan pengaruh waktu dengung pada ruangan. Selanjutnya melakukan pembuatan stimuli yang terdiri dari stimuli *reverberant*, stimuli terhadap nilai vocoder, stimuli suara target yang tercampur dengan *masker*, dan stimuli *dereverberant*. Kemudian stimuli *reverberant* dikurangi energi *reverberant* nya dengan menggunakan metode *dereverberant*. Tahap selanjutnya yaitu melakukan pengujian subjektif dengan metode *Mean Opinion Score* dan pengujian objektif dengan menggunakan metode *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ) dan tahap terakhir yaitu menganalisa hasil dan mengambil kesimpulan yang didapatkan dari pengujian subjektif dan objektif.

3.1 Pengambilan Data Room Impulse Response

Pengambilan data *room impulse response* bertujuan untuk menentukan fungsi transfer yaitu bagaimana suara berperilaku di dalam ruangan sehingga didapatkan pengaruh RT60 atau *reverberation time*. Pengambilan data dengan menggunakan metode *exponential sine sweep* (ESS). Sinyal ESS dan *inverse* ESS didapatkan dengan menggunakan *software* Matlab.

Pengambilan data dimulai dengan persiapan alat yaitu menggunakan *microphone array* yang terhubung dengan *amplifier* kemudian dihubungkan dengan *software* Adobe Audition untuk menyimpan suara rekaman ESS. Untuk membangkitkan suara ESS yaitu dengan menggunakan *speaker* dodecahedron yang terhubung pada *focusrite* kemudian dihubungkan ke laptop yang sudah terinstal *software* *Real Time Analyzer*. Data tersebut diolah untuk mendapatkan *impulse response* ruangan dengan melakukan konvolusi suara rekaman ESS dengan *inverse filter* dengan menggunakan *software* Matlab.

3.2 Database Suara

Data suara yang digunakan adalah suara dengan bahasa Indonesia yang berjumlah 8-12 kata perkalamatnya. *Database* ini direkam di ruangan kedap sehingga tidak terdapat efek

reverberation. Terdapat dua jenis suara yang digunakan yaitu suara laki-laki dan suara perempuan. Pada penelitian sebelumnya digunakan *database* suara berbahasa Inggris. Namun hal ini mempersulit pencarian responden yang digunakan dalam penelitian tersebut karena harus menggunakan *native speaker* (Nisa, 2018). Dalam penggunaannya *database* suara berbahasa Indonesia ini digunakan untuk mempermudah responden memahami suara yang diujikan. Stimuli pada sinyal uji terdiri atas suara laki-laki dan suara perempuan.

3.3 Pembuatan Stimuli (Suara Uji)

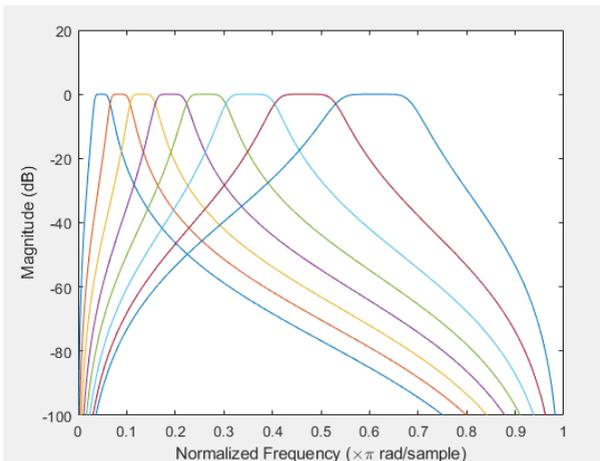
a. Stimuli Suara Asli

Suara asli merupakan suara basis data Bahasa Indonesia dengan frekuensi sampling 16 kHz yang terdiri dari suara asli yaitu suara rekaman di ruang studio, suara stimuli *reverberant* yang telah tercampur dengan *impulse response* ruangan dan suara *dereverberant* yaitu suara yang akan dihilangkan pengaruh *reverberant*.

b. Stimuli Uji Terhadap Nilai Vocoder

Suara dari *database* suara berbahasa Indonesia kemudian diproses menggunakan simulasi pendengaran implan koklea atau juga disebut sebagai *vocoding* atau vocoder dengan jumlah *channel* 8, 12, 16, dan 22 *channel* menggunakan *software* Matlab. Simulasi ini melibatkan ekstraksi *envelope* dari beberapa pita frekuensi dan menggunakan *envelope* tersebut untuk memodulasi gelombang sinusoid. Simulasi tersebut menggunakan *noise carrier* pita sempit dan telah digunakan selama hampir satu dekade dalam eksperimen yang meneliti berbagai parameter pengolah suara (Poissant, 2006). Sementara, akurasi dari metode simulasi ini sebelumnya telah menghasilkan hasil yang kurang lebih sama dengan yang didengarkan oleh pengguna implan yang sebenarnya (Fu, 1998). Sebagai

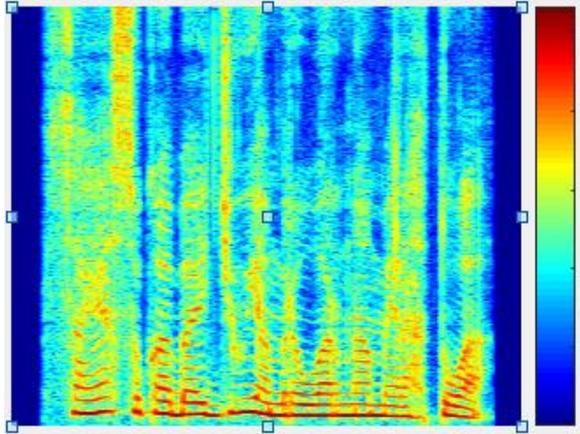
hasil bahwa suara telah berhasil diproses menggunakan vocoder, maka dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 terdapat perbedaan suara antara sebelum dibandingkan dengan setelah diproses menggunakan vocoder 8 *channel*. Gambar tersebut merupakan spektrogram yang menunjukkan hubungan antara frekuensi dengan waktu. Warna dalam gambar tersebut menunjukkan daya dari suara. Semakin merah warnanya maka dayanya semakin tinggi sedangkan semakin biru maka dayanya semakin rendah. Pada spektrogram terlihat jelas fungsi dari vocoder. Suara dibagi-bagi menjadi 8 bagian sesuai dengan *center* frekuensi dari *cochlea auditory filter*.



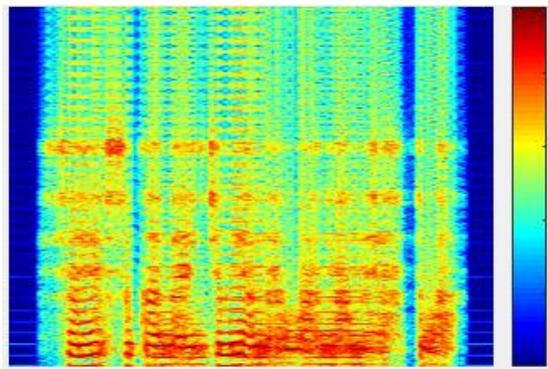
Gambar 3. 2 Filter *bandpass* untuk Vocoder 8 *Channel*

Gambar 3.2 menunjukkan hasil stimuli suara yang telah diproses menggunakan vocoder 8 *channel*. Berdasarkan gambar dapat diketahui bahwa stimuli suara telah terbagi menjadi 8 pita frekuensi dengan

frekuensi tengah atau *center frequency* masing masing dituliskan pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 3 Spektrum Suara Asli



Gambar 3. 4 Spektrum Suara yang Telah Masuk ke Vocoder 8 Elektroda

Dapat diketahui dari Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 merupakan perbandingan spektrogram stimuli suara asli

(Gambar 3.3) dan stimuli suara yang telah dilewatkan vocoder 8 *channel* (Gambar 3.4). Pada spektrogram stimuli suara yang telah melewati 8 *channel* juga terlihat terbagi menjadi 8 pita frekuensi dari warna yang menunjukkan daya bunyi atau *loudness*.

Berikut merupakan jumlah *channel*, frekuensi dan *bandwith* atau pita frekuensi dari suara yang telah diproses menggunakan *vocoder*.

Tabel 3. 1 Tabel jumlah *channel*, frekuensi dan *bandwith*

8 channels	Center Frequencies	394	692	1063	1529	2108	2834	3740	4871				
	Bandwith	268	327	416	516	643	808	1003	1260				
12 channels	Center Frequencies	274	452	662	905	1189	1521	1907	2359	2884	3498	4216	5052
	Bandwith	164	192	228	259	308	356	416	487	564	664	772	900
16 channels	Center Frequencies (1-12)	216	344	488	648	828	1031	1261	1519	1809	2135	2500	2912
	Bandwith	120	136	152	168	191	216	244	272	308	344	387	436
	Center Frequencies (13-16)	3376	3900	4488	5150								
	Bandwith	492	556	620	704								
22 channels	Center Frequencies (1-12)	170	258	354	458	572	696	834	983	1145	1323	1515	1725
	Bandwith (1-12)	84	92	100	108	120	128	147	152	172	184	200	220
	Center Frequencies (13-22)	1955	2207	2500	2778	3106	3462	3848	4272	4735	5242		
	Bandwith (13-22)	240	264	283	312	344	368	404	444	480	536		

Tabel 3.1 merupakan tabel variasi jumlah *channel*, frekuensi tengah masing-masing *channel* dan lebar pita frekuensi masing-masing *channel*. Dapat diketahui dari Tabel 3.1 bahwa ketika suara diproses melalui 8 *channel* maka suara tersebut terbagi menjadi 8 pita frekuensi dengan 8 frekuensi tengah, ketika diproses melalui 12 *channel* maka suara tersebut akan terbagi menjadi 12 pita frekuensi dengan 12 frekuensi tengah. Ketika diproses melalui 16 *channel* maka suara tersebut terbagi menjadi 16 pita frekuensi dengan 16 nilai frekuensi tengah. Dan hal tersebut juga terjadi apabila suara dilewatkan vocoder 22 *channel*, maka

suara akan terbagi menjadi 22 pita frekuensi dengan 22 nilai frekuensi tengah.

c. Stimuli Uji Suara Target yang Tercampur dengan *Masker*

Stimuli yang digunakan terdiri dari suara target yang tercampur dengan suara *masker*. Baik suara target maupun *masker* dilewatkan ke dalam vocoder 8, 12, 16, dan 22 *channel*. Kemudian suara tersebut dicampur berdasarkan kombinasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbandingan *Channel* Target dan *Masker* untuk Stimuli *Baseline*

No.	Baseline 0db		Baseline 5db	
	T.P - M.P	T.P - M.L	T.P - M.P	T.P - M.L
1	08-08	08-08	08-08	08-08
2	12-08	12-08	12-08	12-08
3	12-12	12-12	12-12	12-12
4	16-08	16-08	16-08	16-08
5	16-12	16-12	16-12	16-12
6	16-16	16-16	16-16	16-16
7	20-08	20-08	20-08	20-08
8	20-12	20-12	20-12	20-12
9	20-16	20-16	20-16	20-16
10	20-20	20-20	20-20	20-20

Keterangan :

T.P = Target Perempuan

M.P = Masker Perempuan

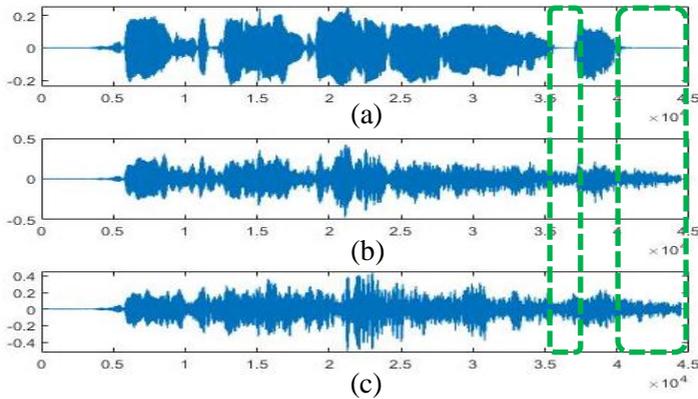
M.L = Masker Laki-Laki

Tabel 3.2 merupakan tabel kombinasi *channel* target dan *masker* untuk pembuatan stimuli *release of making*. Dengan *Signal-to-noise ratio* (SNR) dari sinyal target dan sinyal *masker* ketika ditumpuk menjadi stimuli dikondisikan terdapat dua variasi yaitu 0dB dan 5dB. Hal di atas dilakukan pada dua kombinasi suara target-*masker* yaitu perempuan-laki-laki untuk mewakili kombinasi *gender* yang

berbeda dan perempuan-perempuan untuk mewakili kombinasi *gender* yang sama.

d. Stimuli Reverberant

Stimuli *reverberant* yaitu suara asli yang dikonvolusi dengan sinyal *impulse response* ruangan. *Impulse response* ruangan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu pada ruangan Teater A dan C-124 dengan metode *exponential sine sweep* (ESS) yang masing-masing memiliki waktu dengung (RT60) yaitu 2 detik dan 1 detik. Sinyal suara *reverberant* dan suara asli ditunjukkan pada Gambar 3.5 (a) ditunjukkan dari *time-waveform* sinyal suara ruang C124 pada Gambar 3.5 (b) dan di ruang Teater A Gambar 3.5 (c) akibat adanya pengaruh *impulse response* ruangan pada suara tersebut dimana sumbu x adalah waktu dan sumbu y adalah amplitudo.



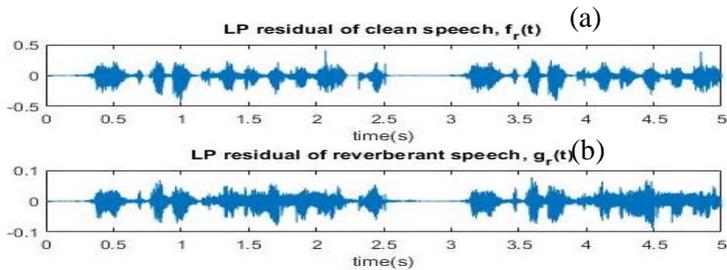
Gambar 3.5 *Time-waveform* sinyal suara asli (a), suara *reverberant* C124 (b), suara *reverberant* Teater A (c)

Gambar 3.5 menunjukkan sinyal suara *reverberant* mengisi zona diam pada suara asli ketika ada jeda (atau tidak berbicara) antara kata berikutnya yang akan diucapkan

ditunjukkan dengan garis putus-putus berwarna hijau, karena adanya penumpukan suara yang menutupi kata selanjutnya. Suku kata yang tertutupi oleh efek *reverberant* akan sulit didengarkan oleh pendengar (Nisa, 2013).

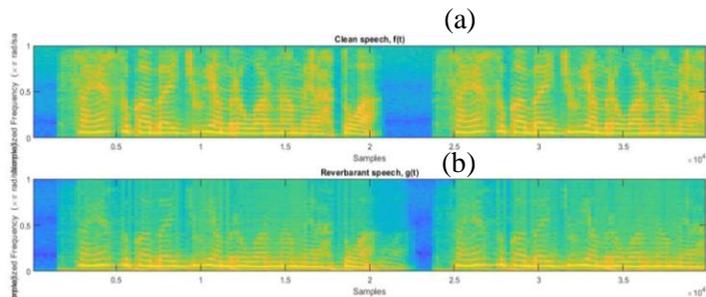
e. Stimuli Suara *Dereverberant*

Suara *reverberant* yang telah didapatkan kemudian akan dikurangi energi dengungnya dengan menggunakan metode *blind dereverberation* dengan memaksimalkan kurtosis sinyal residual untuk mengurangi efek *reverberant*.



Gambar 3. 6 *Time-waveform* sinyal suara asli (a) dan sinyal suara *reverberant* (b)

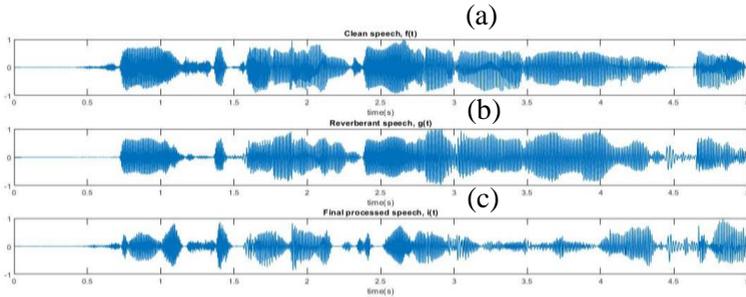
Gambar 3.6 dapat diketahui perbedaan gambar *time-waveform* sinyal residual hasil pemrosesan dari sinyal suara asli (Gambar 3.6 (a)) dan sinyal suara *reverberant* (Gambar 3.6 (b)).



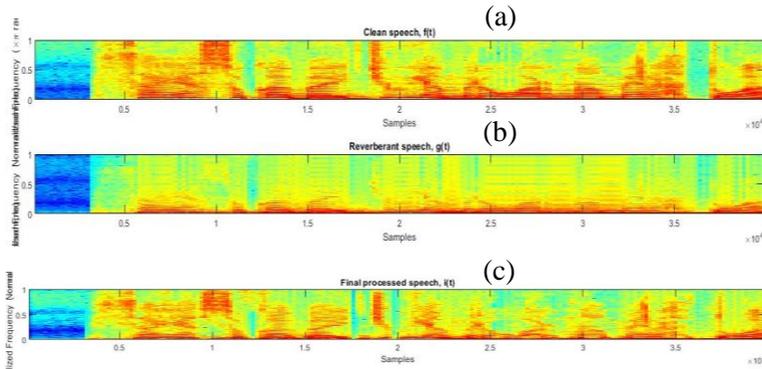
Gambar 3. 7 Spektrogram sinyal suara asli (a) dan sinyal suara *reverberant* (b)

Sedangkan Gambar 3.7 merupakan perbedaan spektrogram dari sinyal suara asli Gambar 3.7 (a) dan sinyal suara *reverberant* Gambar 3.7 (b).

Metode ini menghasilkan sinyal suara yang berkurang efek *reverberant* nya dan dapat ditunjukkan melalui perbandingan plot *time-waveform* dan spektrogram pada Gambar 3.8 (c) yaitu sinyal suara *reverberant* dan 3.9 (c) yaitu sinyal suara *dereverberant*.



Gambar 3. 8 *Time-waveform* sinyal suara asli (a), *time-waveform* sinyal suara *reverberant* (b), dan *time-waveform* sinyal suara hasil *dereverberant* (c)



Gambar 3. 9 Spektrogram sinyal suara asli (a), sinyal suara *reverberant* (b), dan sinyal suara hasil *dereverberant* (c)

Gambar 3.8 (c) merupakan sinyal suara hasil - *dereverberant* yang memiliki plot *time-waveform* yang berbeda dari suara hasil *reverberant*. Sinyal suara hasil *dereverberant* memiliki spektrum yang hampir mendekati suara asli. Hal ini menunjukkan bahwa efek *reverberant* telah berkurang karena proses *dereverberation*.

3.4 Pengujian Subjektif

3.4.1 Partisipan

Partisipan pada penelitian ini adalah pendengar normal dengan rentang umur 18–23 tahun yang berjumlah 15 orang dan diasumsikan tidak memiliki gangguan pendengaran. Kemudian diminta untuk mendengarkan stimuli yang telah dibuat dengan jumlah kalimat sebanyak 320 kalimat dengan masing–masing kalimat sebanyak 8-12 kalimat selama kurang lebih satu setengah jam. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *headphone Senheiser* yang terhubung dengan *soundcard* lalu dihubungkan ke laptop dan dilakukan di ruang kedap Laboratorium Vibrastik Teknik Fisika ITS. Stimuli diperdengarkan dengan volume yang sesuai dengan kenyamanan naracoba (Kokkinakis, 2011). Sebelum melakukan percobaan, naracoba diberikan instruksi tentang bagaimana prosedur percobaan yang akan dilakukan. Respon setiap individu ditulis pada laptop kemudian dilakukan penilaian terhadap presentase kata benar. Presentase kata benar dihitung dengan membagi jumlah kata yang diidentifikasi dengan benar dengan kata dalam daftar kalimat tertentu (Kokkinakis, 2011).

3.4.2 Metode Subjektif Test

Metode yang digunakan yaitu metode *Mean Opinion Score* (MOS) dimana dalam metode ini naracoba yang berjumlah 15 orang mendengarkan suara

asli dan suara hasil pemrosesan, kemudian diminta untuk memberikan nilai dari stimuli uji yang telah didengarkan dengan rentang 1-5. Jumlah kalimat yang didengarkan yaitu berjumlah 320 kalimat dengan durasi *hearing test* kurang lebih satu setengah jam dimana setiap setengah jam naracoba diminta untuk beristirahat agar tidak kehilangan konsentrasi.

3.5 Pengujian Objektif

Pengujian kedua adalah untuk melihat hasil pengukuran secara objektif. PESQ digunakan untuk mengukur kualitas suara menggunakan *software* Matlab.

3.6 Pengujian Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Hasil yang didapatkan dari proses *reverberant* dan proses *dereverberant* kemudian dilakukan analisis dari berbagai sudut pandang. Hal-hal yang dianalisis adalah fenomena suara *reverberant*, hasil proses *dereverberant* dan perubahan nilai subjektif dan objektif tes terhadap proses *dereverberant* yang telah dilakukan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

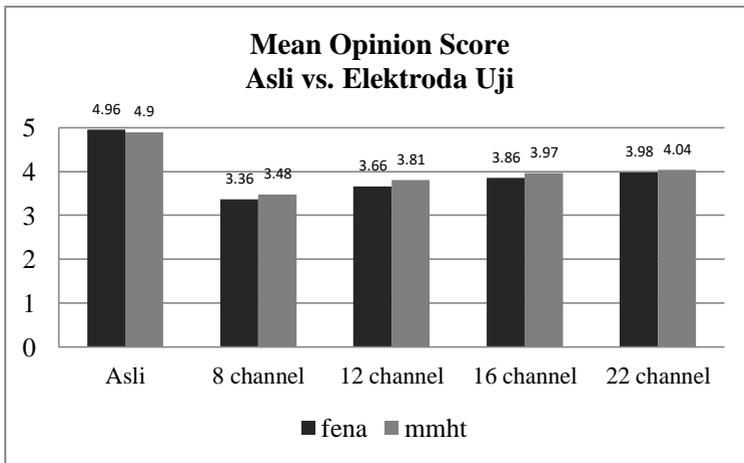
4.1 Tanggapan Kejelasan Suara

Pengambilan data dilakukan terhadap pendengar normal yang memiliki usia dengan rentang 18–23 tahun sejumlah 15 orang dan diasumsikan tidak memiliki gangguan pendengaran. Kemudian diminta untuk mendengarkan stimuli dengan kata-kata Bahasa Indonesia yang direkam di ruang kedap sehingga tidak tercampur dengan efek apapun dengan jumlah kalimat sebanyak 320 kalimat dan masing–masing stimuli terdiri dari 8–12 kalimat dilakukan dalam waktu selama kurang lebih satu setengah jam. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *headphone Senheiser* yang terhubung dengan *soundcard* lalu dihubungkan ke laptop yang dilakukan di ruang kedap Laboratorium Vibrastik Teknik Fisika ITS. Stimuli diperdengarkan dengan volume yang sesuai dengan kenyamanan naracoba. Presentase kata benar dihitung dengan membagi jumlah kata yang diidentifikasi dengan benar dengan kata dalam daftar kalimat tertentu (Kokkinakis, 2011). Dari hasil yang telah didapatkan dapat disimpulkan bahwa dari 15 naracoba pendengar normal ketika diberi stimuli suara uji suara asli memiliki nilai rata–rata presentase kata benar sebesar 99.4%.

4.2 Perubahan Nilai Elektroda Terhadap Suara Uji

Perubahan nilai elektroda pada suara uji (stimuli) implan koklea digunakan untuk melihat pengaruh perubahan nilai elektroda terhadap kejelasan suara implan koklea dan dilakukan dengan mendengarkan suara asli dan suara yang sudah masuk melewati elektroda 8-8, 12-12, 16-16, dan 22-22 *channel*. Skema pemrosesan yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mensimulasikan efek yang didengarkan seolah–olah oleh penderita implan koklea (Finley, dkk 1991). Pengujian dilakukan kepada naracoba dengan pendengaran normal yang berjumlah 15

orang. Untuk jumlah pita frekuensi yang rendah, simulasi akustik pemrosesan implan koklea menggunakan pendengar normal telah memberikan hasil yang sebanding dengan pasien implan yang sebenarnya (Friesen, dkk, 2001). Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan naracoba pendengar normal. Kemudian mereka diperdengarkan stimuli menggunakan suara perempuan dan laki-laki dan dilihat nilai *Mean Opinion Score* (MOS) dari suara yang telah masuk ke elektroda ditunjukkan pada Gambar 4.1 grafik nilai *Mean Opinion Score* (MOS) hasil pengujian subyektif suara asli dengan suara yang telah diproses masuk ke elektroda. Hasil yang didapatkan yaitu semakin tinggi nilai elektroda maka nilai subjektif tes *Mean Opinion Score* (MOS) akan meningkat, dilihat pada grafik Gambar 4.1 tersebut bahwa setiap kenaikan nilai elektroda nilai *Mean Opinion Score* (MOS) juga mengalami kenaikan.



Gambar 4. 1 Nilai MOS suara asli dengan suara yang sudah masuk vocoder

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa nilai *Mean Opinion Score* (MOS) pada stimuli suara asli mencapai 4.96/5 pada stimuli perempuan dan 4.9/5 pada stimuli laki-laki.

Namun nilai MOS turun ketika diberikan stimuli suara yang dilewatkan vocoder 8 *channel* yaitu 3.36/5 pada stimuli suara perempuan dan 3.48/5 pada suara laki-laki. Penurunan ini mencapai 32% dari nilai 4.96/5 menjadi 3.36/5 pada stimuli suara perempuan dan 29% dari nilai 4.9/5 menjadi 3.48/5 pada stimuli suara laki-laki. Namun terjadi kenaikan nilai MOS seiring dengan kenaikan nilai elektroda yang disimulasikan kira-kira sebesar 8% setiap kenaikan nilai elektroda.

Penelitian yang dilakukan oleh (Shannon, dkk, 1995) menemukan bahwa seiring peningkatan jumlah saluran atau *channel* maka akan menghasilkan peningkatan persepsi terhadap kejelasan suara. Pada kondisi melakukan tes pendengaran yang ideal, tingkat pemahaman bicara akan sangat tinggi meskipun dengan jumlah saluran yang kecil. Namun dalam situasi tertentu misalnya dihadapan banyak pembicara atau adanya *noise* yang meningkat maka dibutuhkan jumlah saluran atau *channel* yang banyak setidaknya 20 *channel* (Poissant, 2006).

Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa berdasarkan pengujian yang telah dilakukan penulis memiliki hasil yang sama dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu seiring dengan bertambahnya jumlah *channel* maka tingkat pemahaman terhadap suatu suara akan semakin meningkat.

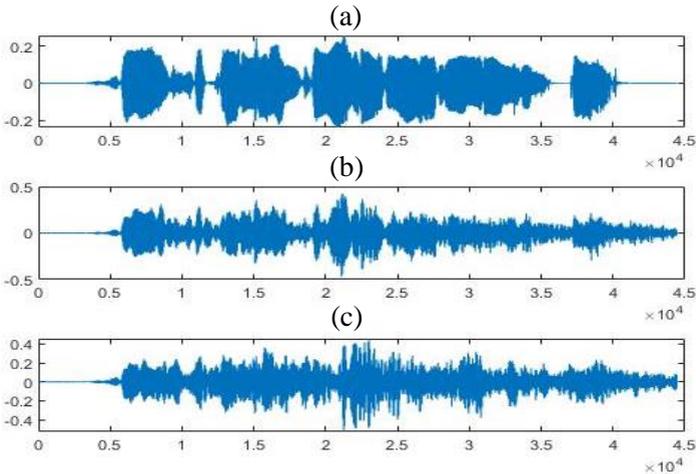
4.3 Suara Basis dengan Suara Reverberant

Suara basis merupakan suara yang belum terpengaruh dengan suara waktu dengung ruangan. Suara *reverberant* merupakan suara yang sudah terpengaruh dengan waktu dengung ruangan yang dibuat dengan dua kondisi yaitu berada pada ruang Teater A dengan nilai RT60 2 detik dan pada ruang C124 dengan nilai RT60 1 detik. Suara *reverberant* dibuat dengan melakukan konvolusi *impulse response* ruangan di C124 dan Teater A untuk mendapatkan suara *reverberant*.

Gambar 4.2 merupakan plot *time-waveform* waktu terhadap amplitudo sinyal suara dengan sumbu-x adalah waktu dan sumbu-y adalah amplitudo. Gambar 4.2(a) menunjukkan sinyal suara

asli, Gambar 4.2(b) menunjukkan sinyal suara *reverberant* ruang C124 dan Gambar 4.2(c) menunjukkan sinyal suara *reverberant* ruang Teater A.

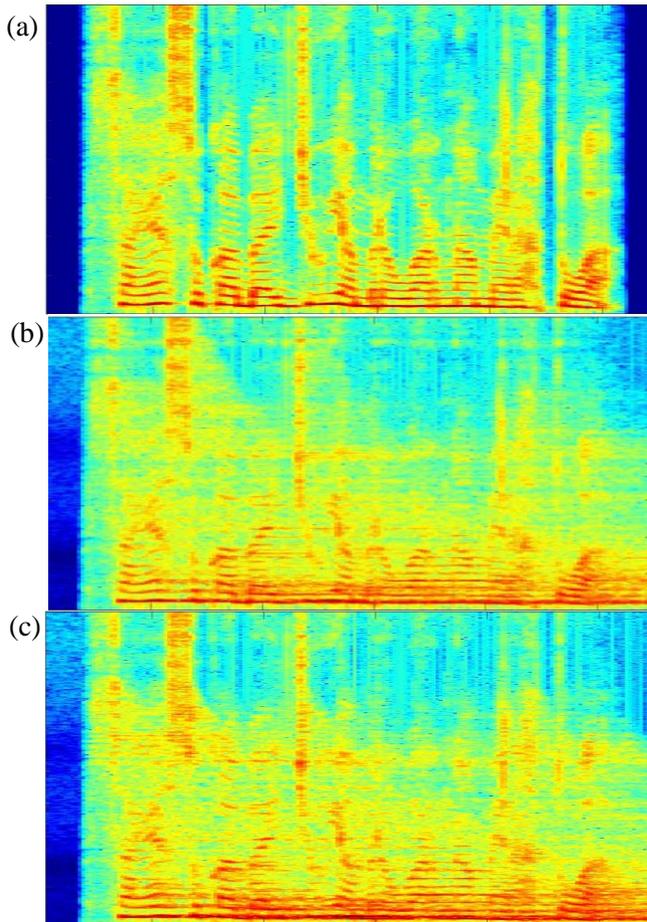
Gambar 4.2 menunjukkan adanya energi sinyal *reverberant* yang mengisi zona diam pada sinyal suara asli dan menyebabkan penumpukan kata selanjutnya sehingga menyebabkan adanya penurunan kejelasan.



Gambar 4. 2 Plot *time-waveform* sinyal suara asli (a), plot *time-waveform* sinyal suara *reverberant* kelas C124 (b), dan plot *time-waveform* sinyal suara *reverberant* ruang TeaterA (c)

Berdasarkan Gambar 4.3(a), 4.3(b), dan 4.3(c) di bawah ini berturut-turut merupakan plot spektrogram dari sinyal suara asli, sinyal suara *reverberant* pada ruang kelas C124 dan sinyal suara *reverberant* pada ruang TeaterA. Dapat diketahui dari gambar di bawah bahwa energi dari sinyal *reverberant* memengaruhi sinyal suara asli. Dapat dilihat dari spektrogram pada Gambar 4.3 yaitu pada frekuensi rendah terdapat kenaikan daya bunyi atau *loudness* pada sinyal suara *reverberant* diakibatkan karena adanya

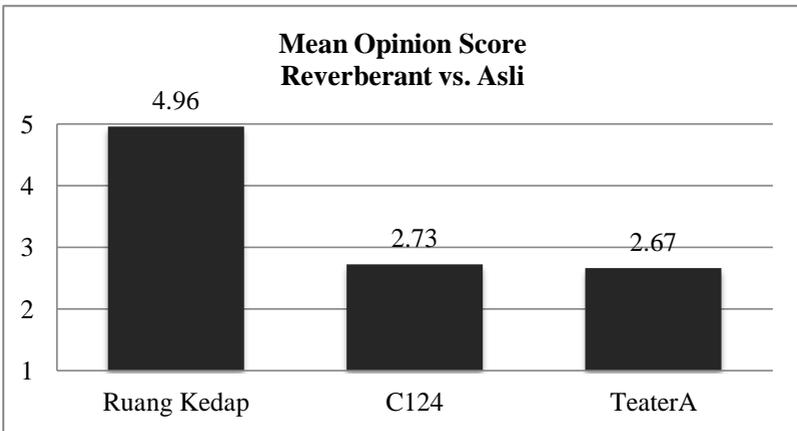
penumpukan kata selanjutnya sehingga pada zona diam akan menjadi zona yang bersuara.



Gambar 4. 3 Plot spektrogram sinyal suara asli (a), plot spektrogram sinyal *reverberant* C124 (b), dan plot spektrogram sinyal *reverberant* TeaterA (c)

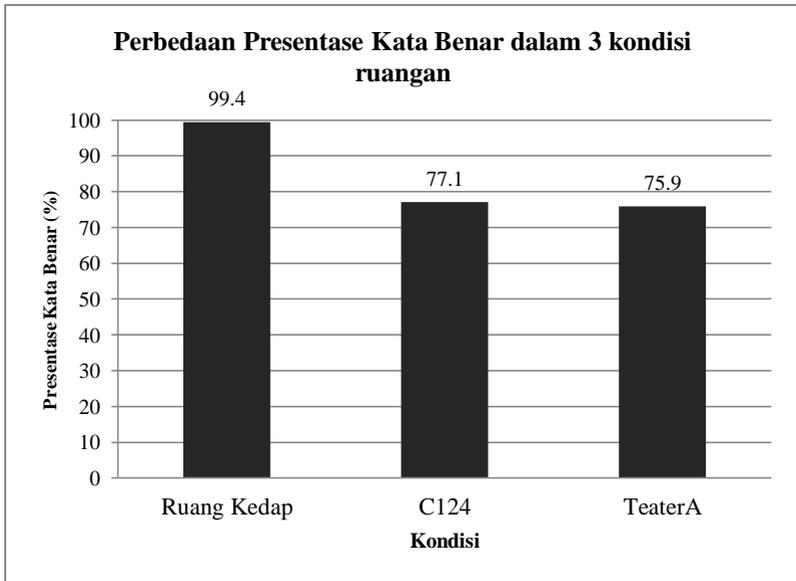
Di bawah ini merupakan grafik yang menunjukkan hasil perbandingan pengujian subjektif (nilai MOS) antara suara asli dan suara yang sudah terkena efek *reverberant*.

Hasil Gambar 4.4 berupa grafik yang menunjukkan bahwa adanya penurunan kualitas suara pada kedua ruang tersebut. Pada ruang C124 mengalami penurunan kualitas suara dengan ditunjukkan nilai *Mean Opinion Square* (MOS) mencapai 45% dari nilai 4.9/5 menjadi 2.7/5 sedangkan pada ruang Teater A penurunan yang terjadi mencapai 46% dari nilai 4.9/5 menjadi 2.6/5.



Gambar 4. 4 Nilai uji subjektif suara asli dengan suara *reverberant*

Menurut (Kokkinakis, 2011) ada hubungan yang sangat kuat dan negatif antara pengaruh *reverberant* dan tanggapan kejelasan suara yang diterima implan koklea. Pada penelitian ini juga diambil data tanggapan kejelasan suara apabila stimuli suara uji diberikan pengaruh *reverberant* dengan tiga kondisi seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 4. 5 Perbandingan presentase kata benar dalam 3 kondisi ruangan

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa presentase kata benar menurun seiring dengan pertambahan nilai *reverberation time*. Pada stimuli suara asli didapatkan hasil presentase kata benar sebesar 99.4%. Kemudian ketika diperdengarkan stimuli suara dengan efek *reverberant* ruang kelas C-124 yang memiliki *reverberation time* sebesar 1 detik, nilai presentase kata benar menurun hingga 22% yaitu dengan nilai 77.1%. Ketika diperdengarkan stimuli suara dengan efek *reverberant* ruang Teater A yang memiliki *reverberation time* sebesar 2 detik, maka nilai presentase kata benar menurun hingga nilai 75.9%. Hasil ini sedikit berbeda dengan hasil (Kokkinakis, 2011) yang mengatakan bahwa nilai rata-rata presentase kata benar akan menurun hingga 20% dengan nilai *reverberation time* sebesar 1 detik, dan dari (Kokkinakis, 2011) yang juga mengatakan bahwa nilai rata-rata presentase kata benar akan

turun dari 90% menjadi 60% dengan nilai *reverberation time* 0.3 detik dan selanjutnya menurun menjadi 20% dengan nilai *reverberation time* 1 detik.

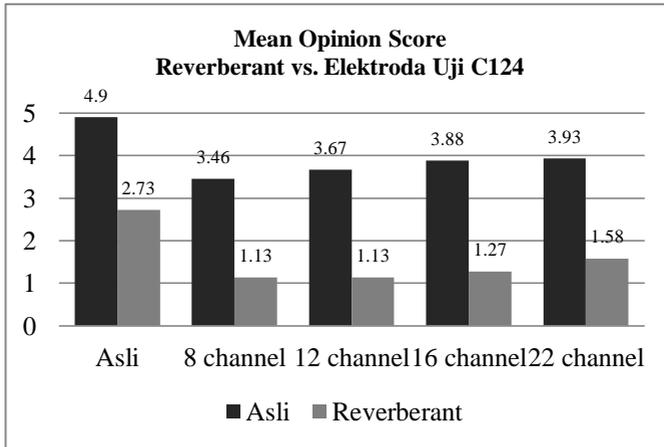
4.4 Suara Reverberant dengan Elektroda Uji

Suara *reverberant* kemudian disimulasikan dan diolah dengan menggunakan vocoder pada elektroda yang berbeda. Hasil pengujian subjektif pada ruang C124 ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan pengujian subjektif pada ruang Teater A ditunjukkan pada Gambar 4.7.

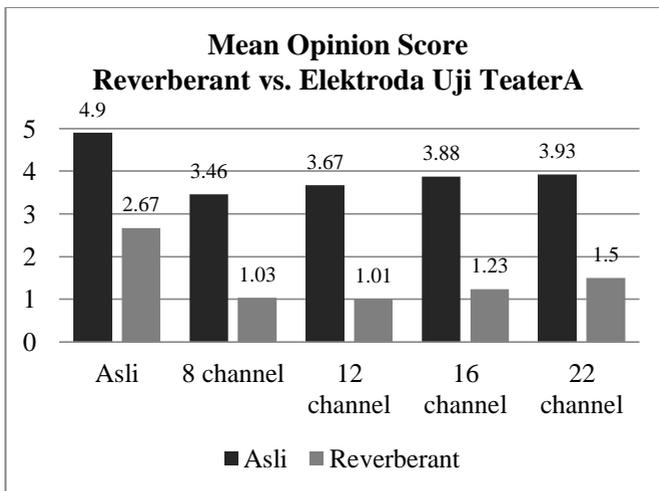
Hasil Gambar 4.6 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai elektroda maka nilai *Mean Opinion Square* (MOS) juga semakin tinggi. Dapat diketahui dari grafik stimuli suara asli tanpa efek *reverberant* nilai MOS mencapai 4.9/5 sedangkan stimuli suara asli yang terkena efek *reverberant* ruang kelas C124 mencapai 2.73/5. Stimuli suara asli mengalami penurunan nilai setelah diberi efek *reverberant* yaitu sebesar 44%. Nilai MOS turun ketika stimuli suara dilewatkan pada 8 *channel* elektroda. Pada suara asli mengalami penurunan sebesar 30% dari 4.9/5 menjadi 3.46/5. Pada stimuli yang terkena efek *reverberant* mengalami penurunan sebesar 58% dari 2.73/5 menjadi 1.13/5. Kemudian seiring dengan penambahan jumlah elektroda maka nilai MOS juga bertambah. Hal serupa juga terjadi pada perbandingan nilai pengujian subjektif suara asli dan suara *reverberant* pada ruang Teater A terhadap nilai elektroda.

Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai elektroda maka nilai *Mean Opinion Square* (MOS) juga semakin tinggi. Dapat diketahui dari grafik stimuli suara asli tanpa efek *reverberant* nilai MOS mencapai 4.9/5 sedangkan stimuli suara asli yang terkena efek *reverberant* ruang TeaterA mencapai 2.67/5. Stimuli suara asli mengalami penurunan nilai setelah diberi efek *reverberant* yaitu sebesar 45%. Nilai MOS turun ketika stimuli suara dilewatkan pada 8 *channel* elektroda. Pada suara asli mengalami penurunan sebesar 30% dari 4.9/5 menjadi 3.46/5. Pada stimuli yang terkena efek *reverberant* mengalami penurunan sebesar 61% dari 2.67/5 menjadi 1.03/5.

Kemudian seiring dengan penambahan jumlah elektroda maka nilai MOS juga bertambah.

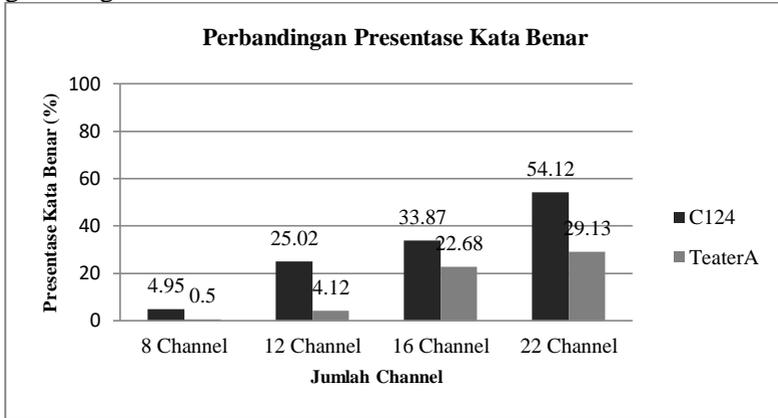


Gambar 4. 6 Nilai perbandingan uji subjektif suara asli vs suara *reverberant* pada C124 terhadap nilai elektroda



Gambar 4. 7 Nilai perbandingan uji subjektif suara asli vs suara *reverberant* pada Teater A terhadap nilai elektroda

Penelitian ini juga diambil data tanggapan kejelasan suara apabila stimuli suara uji diberikan pengaruh *reverberant* dengan tiga kondisi dan dilewatkan *channel vocoder* sehingga seakan-akan didengarkan oleh pengguna implan koklea seperti pada gambar grafik di bawah ini



Gambar 4. 8 Perbandingan presentase kata benar antara 2 kondisi ruang dengan *reverberation time* yang berbeda yang dilewatkan *channel vocoder*

Gambar 4.8 yaitu perbandingan presentase kata benar antara stimuli dengan efek *reverberant* di ruang kelas C124 dengan nilai *reverberation time* 1 detik dan stimuli dengan efek *reverberant* di ruang Teater A dengan nilai *reverberation time* 2 detik dan disimulasikan melewati *channel vocoder* implan koklea. Berdasarkan gambar, dapat diketahui bahwa tanggapan kejelasan suara pada stimuli uji ruang kelas C124 memiliki nilai presentase kata benar yang lebih tinggi daripada ketika diperdengarkan stimuli uji ruang Teater A. Dapat diketahui bahwa hasil presentase kata benar pada stimuli *reverberant* ruang kelas C124 pada elektroda 8 *channel* mencapai nilai 4.95%, lalu seiring penambahan elektroda menjadi 12 *channel*, nilai presentase kata benar mengalami kenaikan yang signifikan mencapai nilai

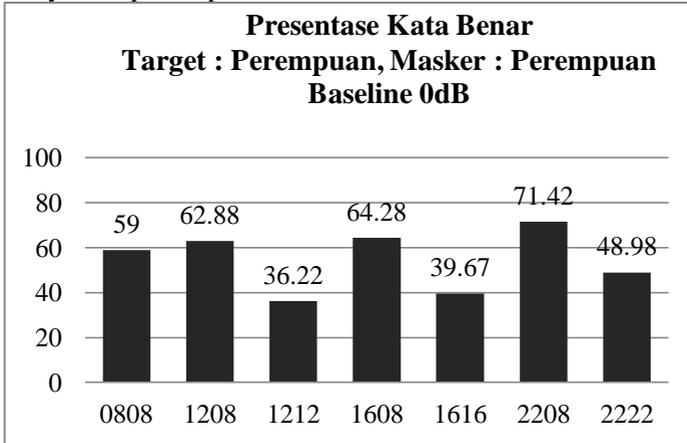
25.02% yaitu mengalami kenaikan sebesar 80%. Penambahan elektroda menjadi 16 *channel* mengalami kenaikan sebesar 26% mencari 33.87%. Kemudian ketika penambahan jumlah *channel* menjadi 22 *channel* nilai presentase kata benar menjadi 54.12% dengan peningkatan sebesar 37%. Pada presentase kata benar dengan stimuli suara *reverberant* ruang TeaterA didapatkan hasil 0.5% pada elektroda 8 *channel*. Kemudian mengalami kenaikan sebesar 87% menjadi 4.12% kata benar. Lalu meningkat pada keadaan elektroda 16 *channel* sebesar 81% menjadi 22.68% kata benar. Dan meningkat ketika diberikan stimuli 22 *channel* sebesar 22% menjadi 29.13% kata benar. Sesuai dengan (Shannon, dkk, 1995) menemukan bahwa seiring peningkatan jumlah saluran atau *channel* maka akan menghasilkan peningkatan persepsi terhadap kejelasan suara. Begitu pula seiring pertambahan jumlah *channel* pada percobaan yang dilakukan, maka presentase kata benar juga semakin meningkat.

4.5 Release of Masking

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik pemrosesan sinyal untuk meningkatkan arti penting dari fenomena *release of masking* dimana target dan *masker* akan diproses melalui *channel vocoder* dengan jumlah *channel* yang berbeda (Dorman, dkk, 1997). Jika lebih banyak *channel* yang digunakan untuk memproses target dan *masker* maka tanggapan kejelasan suara target akan meningkat. Pada saat target dan *masker* bertumpuk, tanggapan kejelasan suara pada target akan berkurang. Terdapat fenomena dimana amplitudo dari *masker* akan lebih rendah dari amplitudo target, pada saat itu tanggapan kejelasan suara akan meningkat (Arifianto, 2013).

Berdasarkan percobaan *release of masking* untuk mengetahui manfaat dari *release of masking* dengan menggunakan lebih banyak *channel vocoder* aktif dari target. Pengurangan *channel vocoder* dari *masker* akan mengurangi kejelasan suara dari *masker*.

Gambar 4.9 merupakan grafik presentase kata benar hasil dari pengujian subjektif dengan target perempuan dan *masker* perempuan. Sumbu x merupakan *channel* yang diujikan dan sumbu y merupakan presentase kata benar.



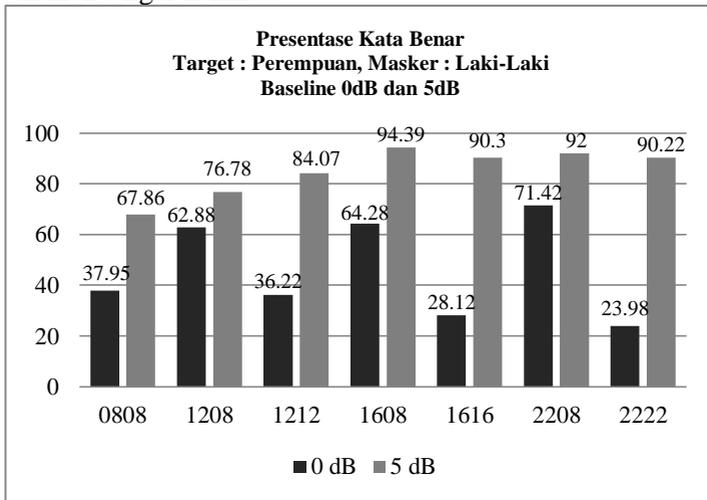
Gambar 4. 9 Nilai Presentase Kata Benar terhadap elektroda uji dengan target perempuan dan masker perempuan

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa semakin tinggi *channel* target maka nilai persentase kata benar semakin meningkat. Namun seiring dengan peningkatan kejelasan suara *masker* maka kejelasan target akan berkurang karena amplitudo akan tumpang tindih dan mengotori informasi dari suara target (Arifianto, 2013). Persentase kata benar tertinggi terdapat pada target dengan jumlah *channel* 22 dengan nilai 71.42%. Dibandingkan dengan 8 *channel* dengan nilai presentase kata benar sebesar 59%. Tanggapan kejelasan akan tinggi ketika jumlah *channel* dari *masker* lebih rendah dari jumlah *channel* dari target.

4.6 Baseline 0 dB dan Baseline 5 dB

Gambar 4.10 merupakan grafik presentase kata benar antara *baseline* dengan SNR 0dB dibandingkan dengan *baseline* dengan

SNR 5dB. Pada grafik tersebut terlihat nilai presentase kata benar pada nilai SNR 5dB lebih besar daripada SNR 0dB. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengguna implan koklea mengalami kesulitan untuk mendengar kalimat.

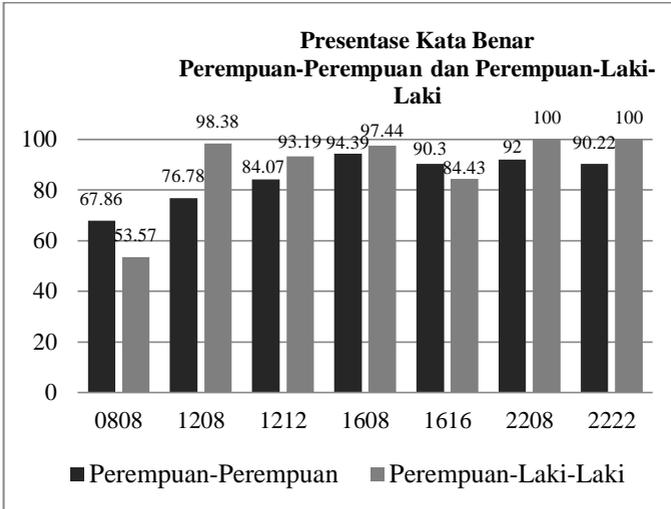


Gambar 4. 10 Perbandingan presentase kata benar target perempuan dan masker laki-laki baseline 0dB dan 5dB

4.7 Gender sama dengan Gender Berbeda

Ketika terdapat dua suara yang dibunyikan bersama-sama akan lebih mudah dimengerti apabila memiliki nada yang berbeda atau menempati frekuensi fundamental (F0) yang berbeda (Assmann & Summerfield, 1990); (Bird & Darwin, 1998); (Brox & Nooteboom, 1982). Karena implan koklea tidak menerima sensasi *pitch* yang kuat baik melalui temporal (Zeng, 2002), mereka akan mengalami kesulitan dalam memisahkan suara dengan frekuensi fundamental (F0) yang sama. Selain itu, karena jumlah saluran yang relatif kecil pada implan koklea, formant dan transisinya tidak terdefinisi dengan baik.

Gambar 4.11 merupakan perbandingan grafik presentase kata benar hasil dari pengujian subjektif dengan target perempuan dan *masker* perempuan terhadap target perempuan dan *masker* laki-laki. Pada grafik tersebut terlihat bahwa presentase kata benar dari *gender* yang berbeda lebih tinggi daripada *gender* yang sama.



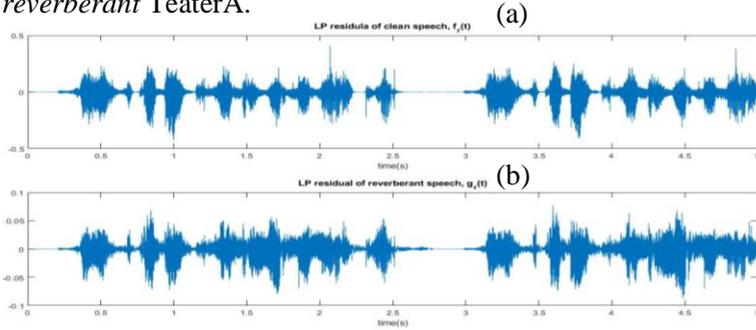
Gambar 4. 11 Perbandingan presentase kata benar antara perempuan-perempuan dan perempuan-laki-laki

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa presentase kata benar tertinggi adalah ketika target perempuan dan *masker* laki-laki pada *channel* target 22 dan *channel* *masker* 08. Presentase kata benar akan menunjukkan hasil semakin tinggi ketika *channel* dari target semakin besar dan *channel* dari *masker* semakin kecil.

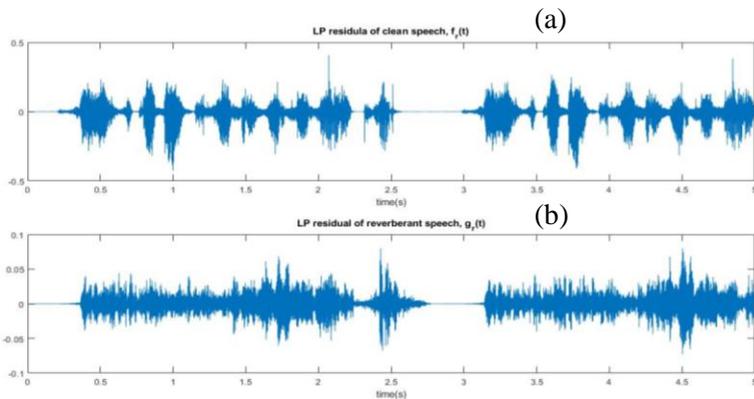
4.8 Performa untuk mengurangi pengaruh waktu dengung

Gambar 4.12(a) merupakan *time-waveform* sinyal residual suara asli dan Gambar 4.12(b) merupakan *time-waveform* sinyal residual suara *reverberant* C124.

Sedangkan berikut ini merupakan Gambar 4.13 (a) merupakan *time-waveform* sinyal residual suara asli dan Gambar 4.13 (b) merupakan *time-waveform* sinyal residual suara *reverberant* TeaterA.

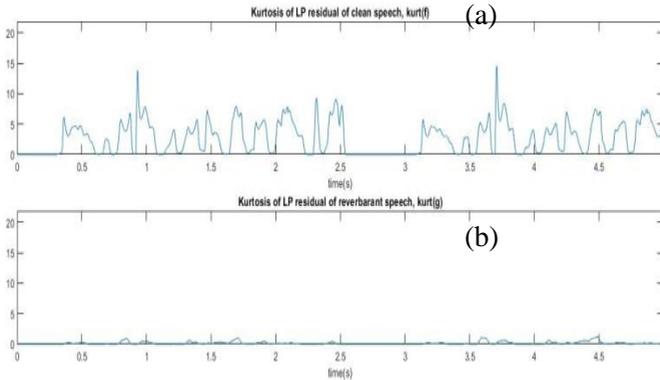


Gambar 4. 12 *Time-waveform* sinyal residual suara asli (a) dan *time-waveform* sinyal residual suara *reverberant* C124 (b)

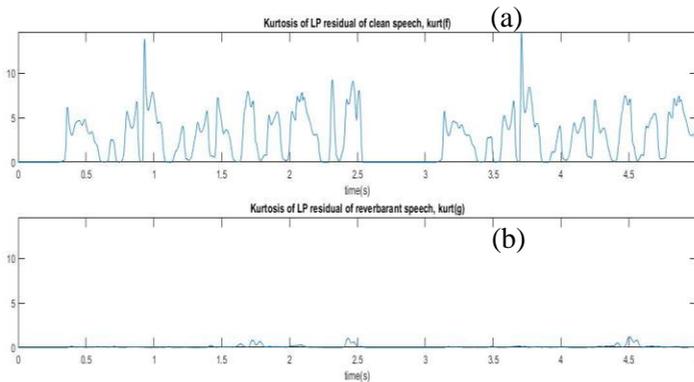


Gambar 4. 13 *Time-waveform* sinyal residual suara asli (a) dan *time-waveform* sinyal residual suara *reverberant* Teater A (b)

Berdasarkan Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 yaitu perbandingan antara kurtosis sinyal asli dan sinyal suara *reverberant* dari kedua ruang dapat diketahui bahwa kurtosis dari sinyal *reverberant* akan meningkat atau maksimum dengan menaikkan jumlah filter (MingYang Wu, 2006).



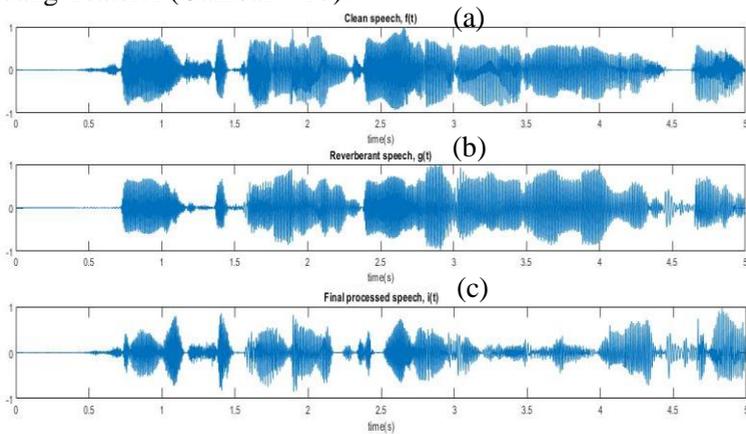
Gambar 4. 14 Kurtosis sinyal suara asli (a), dan kurtosis sinyal suara *reverberant* C124 (b)



Gambar 4. 15 Kurtosis sinyal suara asli (a), kurtosis sinyal suara *reverberant* TeaterA (b)

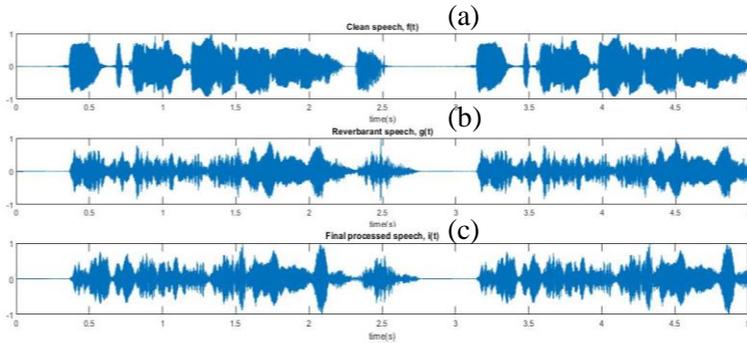
Berdasarkan semua *time-waveform*, kurtosis dari masing-masing sinyal telah ditunjukkan. Terlihat jelas dari *time-waveform* bahwa efek *reverberant* telah menyebarkan energi sinyal pada domain waktu sehingga sinyal LP residual kurang maksimum puncaknya.

Berikut merupakan perbedaan plot *time-waveform* dari sinyal asli, sinyal suara *reverberant*, dan sinyal suara hasil *dereverberant* pada dua kondisi ruang dengan waktu dengung yang berbeda yaitu pada ruang kelas C124 (Gambar 4.16) dan ruang TeaterA (Gambar 4.17).

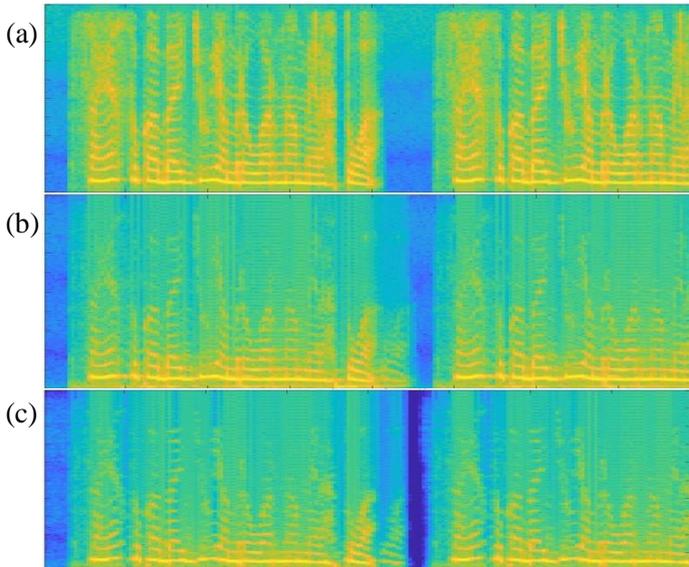


Gambar 4. 16 *Time-waveform* sinyal suara asli (a), *time-waveform* sinyal suara *reverberant* C124 (b), dan *time-waveform* sinyal suara hasil *dereverberant* (c)

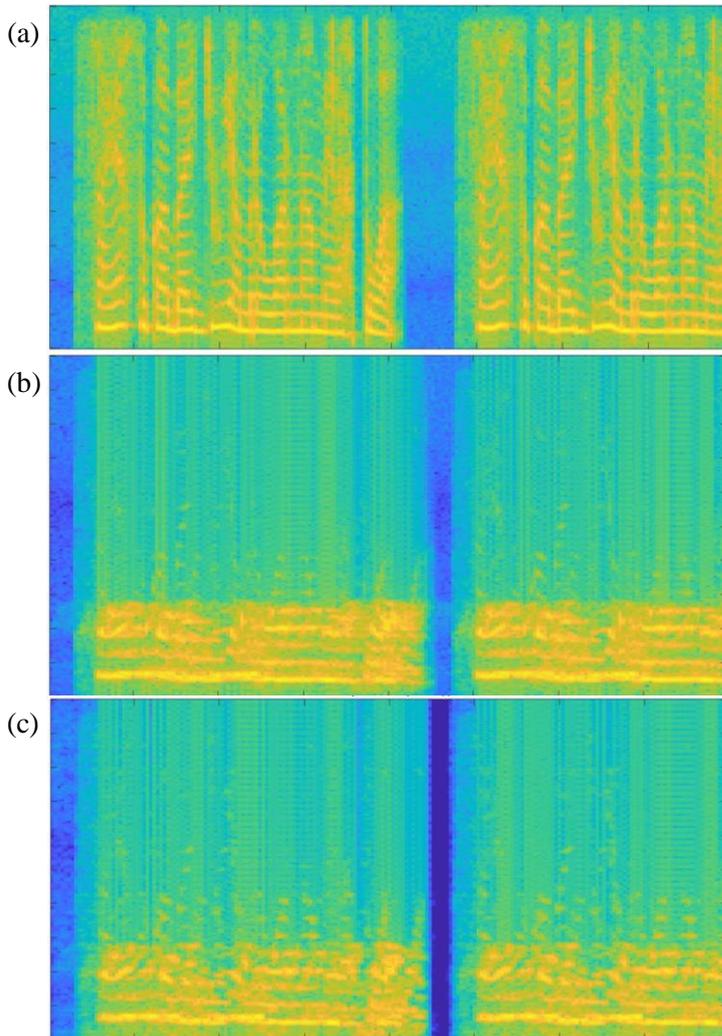
Plot *time-waveform* pada Gambar 4.16 didapatkan dengan pengolahan menggunakan *software* Matlab sehingga dapat diketahui perbedaan sinyal suara asli, sinyal suara *reverberant* dan sinyal suara hasil *dereverberant*.



Gambar 4. 17 *Time-waveform* sinyal suara asli (a), *time-waveform* sinyal suara *reverberant* TeaterA (b), dan sinyal suara hasil *dereverberant* (c)



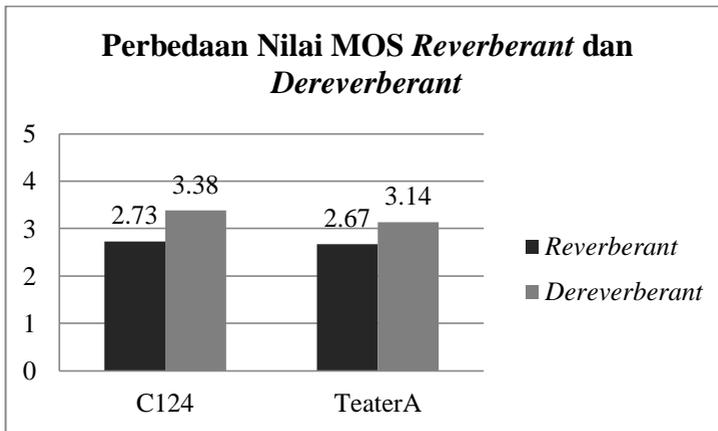
Gambar 4. 18 Spektrogram sinyal suara asli (a), spektrogram sinyal suara *reverberant* C124 (b), dan sinyal suara hasil *dereverberant* (c)



Gambar 4. 19 Spektrogram sinyal suara asli (a), spektrogram sinyal suara *reverberant* TeaterA (b), dan spektrogram sinyal suara hasil *dereverberant* (c)

Spektrogram dari Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 menunjukkan bentuk gelombang suara secara berturut-turut stimuli suara asli, stimuli suara yang tercampur efek *reverberant* dan suara yang telah di *inverse filter*. Hal ini dapat dilihat pada gambar bagaimana formant yang berbeda tersebar dalam waktu di stimuli suara dengan efek *reverberant*.

Berikut ini merupakan nilai perbandingan hasil pengujian subjektif dengan metode *Mean Opinion Score* (MOS) antara stimuli suara *reverberant* dan *dereverberant*.

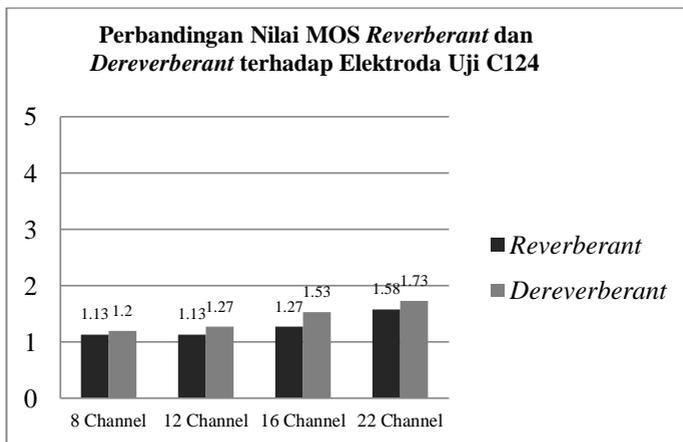


Gambar 4. 20 Perbedaan Nilai MOS *Reverberant* dan *Dereverberant*

Berdasarkan Gambar 4.20 dapat diketahui bahwa dari hasil pengujian subjektif, nilai MOS dari stimuli *reverberant* sedikit mengalami kenaikan setelah diproses menjadi stimuli *dereverberant*. Pada ruang kelas C124 nilai MOS mengalami peningkatan sebesar 19% dari 2.73/5 menjadi 3.38/5. Pada ruang Teater A juga mengalami peningkatan nilai MOS sebesar 14% dari 2.67/5 menjadi 3.12/5.

Berikut ini merupakan nilai perbandingan hasil pengujian subjektif dengan metode *Mean Opinion Score* (MOS) antara

stimuli suara *reverberant* dan *dereverberant* terhadap elektroda uji di masing–masing kondisi ruangan.

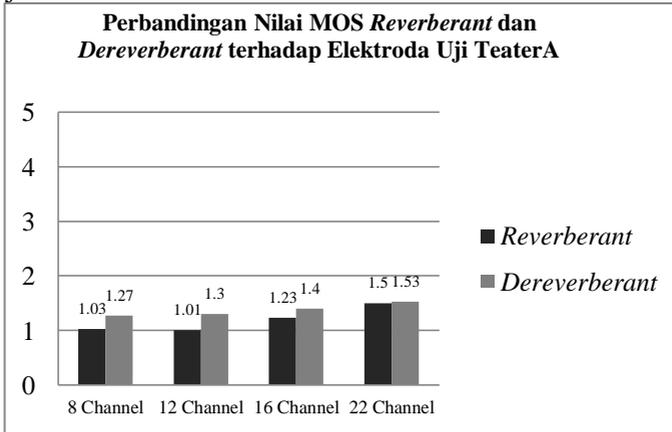


Gambar 4. 21 Perbandingan Nilai MOS *Reverberant* dan *Dereverberant* terhadap Elektroda Uji C124

Berdasarkan Gambar 4.21 dapat diketahui bahwa dari hasil pengujian subjekif, nilai MOS dari stimuli *reverberant* sedikit mengalami kenaikan setelah diproses menjadi stimuli *dereverberant* ketika dilewatkan vocoder 8 *channel* pada ruang kela C124. Nilai MOS mengalami peningkatan sebesar 5% dari 1.13/5 menjadi 1.2/5. Kemudian nilainya meningkat seiring dengan kenaikan jumlah *channel*. Ketika dilewatkan 12 *channel* terdapat peningkatan sebesar 11% dari 1.13/5 menjadi 1.27/5. Kemudian ketika dilewatkan 16 *channel* mengalami kenaikan sebesar 16% dari 1.27/5 menjadi 1.53/5. Dan ketika dilewatkan 22 *channel* mengalami kenaikan nilai MOS sebesar 8% dari 1.58/5 menjadi 1.73/5.

Berdasarkan Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa dari hasil pengujian subjekif, nilai MOS dari stimuli *reverberant* sedikit mengalami kenaikan setelah diproses menjadi stimuli *dereverberant* ketika dilewatkan vocoder 8 *channel* pada ruang

TeaterA. Nilai MOS mengalami peningkatan sebesar 18% dari 1.03/5 menjadi 1.27/5. Kemudian nilainya meningkat seiring dengan kenaikan jumlah *channel*. Ketika dilewatkan 12 *channel* terdapat peningkatan sebesar 22% dari 1.01/5 menjadi 1.3/5. Kemudian ketika dilewatkan 16 *channel* mengalami kenaikan sebesar 12% dari 1.23/5 menjadi 1.4/5. Dan ketika dilewatkan 22 *channel* mengalami kenaikan nilai MOS sebesar 2% dari 1.5/5 menjadi 1.53/5.



Gambar 4. 22 Perbandingan Nilai MOS *Reverberant* dan *Dereverberant* terhadap Elektroda Uji TeaterA

Berdasarkan hasil dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat penulis simpulkan bahwa stimuli suara tersebut belum cukup bagus untuk didengarkan oleh pengguna implan koklea meskipun sudah mengalami sedikit sekali kenaikan nilai pengujian subjektif.

4.9 Hasil Pengujian Objektif

Pengujian objektif yang dilakukan dengan menggunakan metode PESQ, digunakan untuk menilai kualitas suara hasil pemrosesan suara *dereverberant*. Hasil pengujian sebagai proses untuk mengurangi pengaruh waktu dengung terhadap sinyal suara uji memiliki rentang penilai dari (-0,5) hingga 4,5 berdasarkan IT-UT 2000.

Tabel 4. 1 Perbandingan hasil uji PESQ suara stimuli asli, stimuli suara *reverberant*, dan stimuli suara hasil *dereverberant*

Ruangan	Gender	PESQ		
		Stimuli Asli	Stimuli <i>dereverberant</i>	Stimuli <i>reverberant</i>
C124	Fena	4.5	1.56	0.5
	Mmht	4.5	1.67	1.17
Teater A	Fena	4.5	1.55	0.96
	Mmht	4.5	1.81	1.29

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa melalui metode *dereverberation* dengan memaksimumkan nilai kurtosis dapat menaikkan nilai pengujian objektif yang diukur menggunakan algoritma PESQ meskipun kenaikannya tidak signifikan. Pada ruangan C124 stimuli uji dengan *gender* wanita mengalami kenaikan nilai PESQ dari 0.5 menjadi 1.56 dan pada *gender* laki-laki mengalami kenaikan dari 1.17 menjadi 1.67. Sedangkan pada ruang Teater A stimuli uji dengan *gender* wanita mengalami kenaikan nilai PESQ dari 0.96 menjadi 1.55 dan pada *gender* laki-laki mengalami kenaikan dari 1.29 menjadi 1.81.

4.10 Pembahasan

Tanggapan kejelasan suara pengguna implan koklea sangat dipengaruhi oleh efek *reverberant* meskipun dalam waktu yang singkat. Melalui presentase kata benar yang disajikan dalam sub-bab sebelumnya bahwa tanggapan kejelasan suara rata-rata untuk semua pendengar mengalami penurunan dari 99.4% pada kondisi dimana stimuli diperdengarkan di ruang kedap menjadi sekitar 77.1% pada ruang kelas C124 dan 75.9% pada ruang TeaterA. Pada penelitian ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Kokkinakis, 2011) yang menyimpulkan bahwa ada hubungan yang sangat kuat dan negatif antara pengaruh *reverberant* dan kejelasan tanggapan suara yang diterima implan koklea. Sedangkan berdasarkan

penilaian subjektif dari naracoba yang diperdengarkan stimuli suara asli dan *reverberant* didapatkan hasil berupa nilai *Mean Opinion Score* (MOS) pada stimuli suara asli mencapai 4.96/5 lalu terjadi penurunan nilai MOS ketika diberi stimuli suara dengan efek *reverberant* pada ruang kelas C124 mencapai 45% dari 4.95/5 menjadi 2.7/5 sedangkan pada ruang Teater A penurunan yang terjadi mencapai 46% dari nilai 4.9/5 menjadi 2.6/5. Hal ini sesuai dengan menurut (Kokkinakis, 2011) ada hubungan yang sangat kuat, dan negatif antara pengaruh *reverberant* dan kejelasan tanggapan suara yang diterima implan koklea.

Menurut (Shannon, dkk, 1995) menemukan bahwa seiring peningkatan jumlah saluran atau *channel* maka akan menghasilkan peningkatan persepsi terhadap kejelasan suara. Pada penelitian yang telah dilakukan pada naracoba dengan pendengaran normal yang berjumlah 15 orang dengan diperdengarkan stimuli menggunakan suara perempuan dan laki-laki dan dilihat nilai *Mean Opinion Score* (MOS) dari suara yang telah masuk ke elektroda. Dapat disimpulkan bahwa nilai *Mean Opinion Score* (MOS) pada stimuli suara asli mencapai 4.96/5 pada stimuli perempuan dan 4.9/5 pada stimuli laki – laki. Namun nilai MOS turun ketika diberikan stimuli suara yang dilewatkan vocoder 8 *channel* yaitu 3.36/5 pada stimuli suara perempuan dan 3.48/5 pada suara laki–laki. Penurunan ini mencapai 32% dari nilai 4.96/5 menjadi 3.36/5 pada stimuli suara perempuan dan 29% dari nilai 4.9/5 menjadi 3.48/5 pada stimuli suara laki–laki. Namun terjadi kenaikan nilai MOS seiring dengan kenaikan nilai elektroda yang disimulasikan kira-kira sebesar 8% setiap kenaikan nilai elektroda. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seiring dengan bertambahnya jumlah *channel* maka tingkat pemahaman terhadap suatu suara akan semakin meningkat.

Stimuli suara *reverberant* yang diperoleh kemudian disimulasikan menggunakan vocoder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai elektroda maka nilai

Mean Opinion Square (MOS) juga semakin tinggi. Stimuli suara asli tanpa efek *reverberant* nilai MOS mencapai 4.9/5 sedangkan stimuli suara asli yang terkena efek *reverberant* ruang kelas C124 mencapai 2.73/5. Stimuli suara asli mengalami penurunan nilai setelah diberi efek *reverberant* yaitu sebesar 44%. Nilai MOS turun ketika stimuli suara dilewatkan pada 8 *channel* elektroda. Pada suara asli mengalami penurunan sebesar 30% dari 4.9/5 menjadi 3.46/5. Pada stimuli yang terkena efek *reverberant* mengalami penurunan sebesar 58% dari 2.73/5 menjadi 1.13/5. Kemudian pada perbandingan presentase kata benar, hasil yang didapatkan juga sama dengan penelitian sebelumnya oleh (Shannon, dkk, 1995) bahwa seiring bertambahnya jumlah *channel* maka nilai tanggapan kualitas dan kejelasan suara semakin meningkat.

Berdasarkan percobaan *release of masking* untuk mengetahui manfaat dari *release of masking* yaitu dengan menggunakan lebih banyak *channel* vocoder aktif dari target. Pengurangan *channel* vocoder dari *masker* akan mengurangi kejelasan suara dari *masker*. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian bahwa presentase kata benar tertinggi terdapat pada target dengan jumlah *channel* 22 dengan nilai 71.42%. Dibandingkan dengan 8 *channel* dengan nilai presentase kata benar sebesar 59%. Ketika stimuli target dan *masker* dengan variasi *gender* yang sama dan *gender* yang berbeda akan memiliki tanggapan kejelasan suara yang lebih baik jika menggunakan variasi *gender* yang berbeda. Pada penelitian ini menggunakan target perempuan dan *masker* laki-laki. Karena implan koklea tidak menerima sensasi *pitch* yang kuat baik melalui temporal (Zeng, 2002), mereka akan mengalami kesulitan dalam memisahkan suara dengan frekuensi fundamental (F0) yang sama. Hasil yang didapatkan adalah presentase kata benar tertinggi adalah ketika target perempuan dan *masker* laki-laki pada *channel* target 22 dan *channel masker* 08.

Stimuli uji yang sudah terkena efek *reverberant* kemudian dikurangi efeknya dengan menggunakan metode *dereverberant*

yaitu dengan memaksimumkan nilai kurtosis dari sinyal residualnya. Dapat dibuktikan dari plot *time-waveform* sinyal suara terlihat bahwa sinyal residual mengalami kenaikan kurtosis setelah dilakukan *inverse filter* dan lebih mendekati sinyal suara asli. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Tomar, 2012) yaitu bahwa sinyal LP residual dari output yang telah di *inverse filter* jauh lebih mendekati sinyal suara yang asli dan kurtosisnya juga meningkat. Kemudian berdasarkan pengujian subjektif yang telah dilakukan juga dapat diketahui perbedaan antara nilai MOS stimuli *reverberant* dan stimuli yang sudah diproses yaitu mengalami kenaikan sebesar 19% pada ruang kelas C124 dan sebesar 14% pada ruang Teater A. Kemudian ketika stimuli dilewatkan vocoder juga mengalami kenaikan rata-rata sebesar 2% seiring dengan kenaikan jumlah *channel* pada ruang kelas C124 dan ruang TeaterA. Kenaikan ini juga dapat diketahui dari pengujian objektif menggunakan algoritma PESQ untuk ruang kelas C124 mengalami kenaikan dari 0.5 menjadi 1.56 dan pada *gender* laki-laki mengalami kenaikan dari 1.17 menjadi 1.67. Sedangkan pada ruang Teater A stimuli uji dengan *gender* wanita mengalami kenaikan nilai PESQ dari 0.96 menjadi 1.55 dan pada *gender* laki-laki mengalami kenaikan dari 1.29 menjadi 1.81.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengaruh waktu dengung yang panjang menyebabkan adanya penurunan kualitas suara oleh pendengar normal yaitu dari nilai 4.96/5 menjadi 2.73/5 pada ruang kelas C124 dan dari nilai 4.96/5 menjadi 2.67/5 pada ruang TeaterA. Penurunan ini juga terjadi ketika diperdengarkan stimuli uji terhadap nilai vocoder yaitu dari nilai 3.46/5 menjadi 1.13/5 ketika melalui 8 *channel*, dari 3.67/5 menjadi 1.13/5 ketika melalui 12 *channel*, dari nilai 3.88/5 menjadi 1.27/5 ketika melalui 16 *channel*, dan dari 3.93/5 menjadi 1.58/5 ketika dilewatkan 22 *channel* pada ruang kelas C124. Pada ruang Teater A juga menurun dari 3.46/5 menjadi 1.03/5 ketika melalui 8 *channel*, dari 3.67/5 menjadi 1.01/5 ketika melalui 12 *channel*, dari 3.88/5 menjadi 1.23/5 ketika melalui 16 *channel*, dan dari 3.93/5 menjadi 1.5/5 ketika dilewatkan 22 *channel*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa waktu dengung dapat memengaruhi kejelasan suara yang diterima pengguna implan koklea.
- b. Efek *reverberant* dapat dikurangi dengan metode *dereverberant* menggunakan metode maksimum kurtosis dari sinyal residual. Dapat dibuktikan dari plot *time-waveform* sinyal suara terlihat bahwa sinyal residual mengalami kenaikan kurtosis. Berdasarkan pengujian subjektif yang telah dilakukan juga dapat diketahui perbedaan antara nilai MOS stimuli *reverberant* dan stimuli yang sudah diproses yaitu mengalami kenaikan dari 2.73/5 menjadi 3.38/5 pada

ruang kelas C124 dan dari 2.67/5 menjadi 3.14/5 pada ruang Teater A. Kemudian ketika stimuli dilewatkan vocoder juga mengalami kenaikan dari 1.13/4 menjadi 1.2/5 ketika dilewatkan 8 *channel*, dari 1.13/5 menjadi 1.27/5 ketika dilewatkan 12 *channel*, dari 1.27/5 menjadi 1.53/5 ketika dilewatkan 16 *channel* dan dari 1.58/5 menjadi 1.73/5 ketika dilewatkan 22 *channel*. Kenaikan nilai MOS ini seiring dengan kenaikan jumlah *channel* pada ruang kelas C124 dan ruang TeaterA. Kenaikan ini juga dapat diketahui dari pengujian objektif menggunakan algoritma PESQ untuk ruang kelas C124 mengalami kenaikan dari 0.5 menjadi 1.56 dan pada *gender* laki–laki mengalami kenaikan dari 1.17 menjadi 1.67. Sedangkan pada ruang Teater A stimuli uji dengan *gender* wanita mengalami kenaikan nilai PESQ dari 0.96 menjadi 1.55 dan pada *gender* laki–laki mengalami kenaikan dari 1.29 menjadi 1.81.

5.2 Saran

Dalam proses tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu dalam proses penentuan dan persiapan suara uji yang akan didengarkan kepada pasien implan koklea. Waktu dengung yang digunakan seharusnya bervariasi dari ruang yang memiliki waktu dengung kecil hingga memiliki waktu dengung yang panjang sebagai pembandingan hasil kerja algoritma yang digunakan untuk proses mengurangi dengung. Proses *dereverberation* yang digunakan sebaiknya digunakan metode lain selain memaksimumkan kurtosis sinyal residual karena dalam metode ini proses untuk menghilangkan pengaruh waktu dengung tidak mengalami kenaikan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifianto, D. (2013). Speech Intelligibility Improvement of Cochlear Implant using Release of Masking.
- Assmann, P. F., & Summerfield, Q. S. (1990). Modelling the perception of concurrent vowels: Vowels with different fundamental frequencies. *J. Acoust. Soc. Am*, 680-697.
- B. Yegnarayana, P. S. (2006). Enhancement of Reverberant Speech Using LP Residual Signal.
- Bird, J., & Darwin, C. J. (1998). Effect of difference in fundamental frequency in separating two sentences. *Psychophysical and Ohysiological Advances in Hearing*, 263-269.
- Bradford W. Gillespie, H. S. (2001). Speech Dereverberation via maximum kurtosis subband adaptive filtering. *Proceedings (ICASSP'01)*. IEEE International Conference o Vol. 6 IEEE, 2001.
- Brokx, J. P., & Nooteboom, S. G. (1982). Intonation and the perception of simulatneous voices. *J. Phonetics*, 23-36.
- Clark, G. (2003). *Cochlear Implant Fundamental and Application*. Australia: Springer.
- Clement S. J. Doire, M. B. (2013). Single-Channel Bind Estimation of Reverberation Parameter.
- Dorman, M. F., & Loizou, P. C. (1998). Identification of Consonant and Vowels by Cochlear Implant Patients Using a 6-Channel Continuous Interleaved Sampling Processor And By Normal-Hearing Subjects Using Simulations Processors with two to nine channels. *Ear and Hear*, 162-166.
- Dorman, M. F., Loizou, P. C., & Rainey, D. (1997). Speech intelligibility as a function of the number of channels of stimulation for signal processing using sine-wave and noise band outputs. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2403-2411.

- Ekorini, H. M. (2016). *Cochlear Implant Programme Report in Dr. Soetomo Hospital Surabaya*. Surabaya.
- Festen, J. M., & Plomp, R. (1990). Effect of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1725-1736.
- Finley, C. C., Wilson, B. S., Wolford, R. D., Eddington, D. K., & Rabinowitz, W. M. (1991). Better speech recognition with cochlear implant. 236-238.
- Freyman, R. L., Balakrishnan, U., & Helfer, K. (2004). Effect of number of masking talkers and auditory priming on informational masking in speech recognition. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2246-2256.
- Friesen, L. M., Shannon, R. V., Baskent, D., & Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implant. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1150-1163.
- Fu, Q. J., Shannon, R. V., & Wang, X. (1998). Effects of noise and spectral resolution on vowel and consonant recognition: acoustic and electric hearing. *J. Acoustic. Soc. Am.*, 3586-3596.
- Ginger S. Stickney, F.-G. Z. (2004). Cochlear Implant Speech Recognition with Speech Maskers. 1-11.
- Hill, F. J., McRae, L. P., & McClellan, R. P. (1968). Speech Recognition as a function of channel capacity in a discrete set of channel. *J. Acoust. Soc. An.*, 13-18.
- Jayashree R. Manju KHrisna, M. V. (2013). Accurate Estimation of Reverberation Time and DRR Using Maximum Likelihood Estimator. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
- Kostas Kokkinakis, O. H. (2011). A channel-selection criterion for suppressing reverberation in cochlear implants. 3221-3232.

- Kostas Kokkinakis, P. C. (2011). Evaluation of Objective Measures For Quality Assessment of Reverberation Speech. 1-4.
- MingYang Wu, D. W. (2006). A Two-Stage Algorithm for One-Microphone Reverberant Speech Enhancement. *Audio, Speech, and Language Processing*.
- Nathaniel A. Whitmal, S. F. (2009). Effects of Source-to-Listener Distance and Masking on Perception of Cochlear Implant Processed Speech in Reverberant Rooms.
- Nisa, H. K. (2018). *Evaluasi Unjuk Kerja Dereverberation Untuk Meningkatkan Kualitas Suara Pengguna Implan Koklea Akibat Pengaruh Reverberation Time dengan Stimuli Bahasa Indonesia*. Surabaya: ITS.
- Oldooz Hazrati, J. L. (2013). Blind Binary Masking for Reverberation Suppression in Cochlear Implant. 1607-1614.
- Oldooz Hazrati, P. C. (2013). Reverberation Suppression in Cochlear Implants using a blind channel-selection strategy. 4188-4196.
- Oldooz Hazrati, P. C. (2013). Reverberation Suppression in Cochlear Implants Using A Blind-Selection Strategy.
- Oldooz Hazrati, S. O. (2013). Simultaneous Suppression of Noise and Reverberation in Cochlear Implants Using a Ratio Masking Strategy. 3759-3765.
- Outouzian, A. (2014). *Real-Time Dereverberation*.
- Qin, M. K., & Oxenham, A. J. (2003). Effect of simulated cochlear-implant-processing on speech reception in fluctuating masker. *J. Acoust. Soc. Am*, 446-454.
- Robert V. Shannon, Q.-J. F. (2002). Speech Perception with Cochlear Implant .
- Sarah F. Poissant, N. A. (2006). Effects of Reverberation and Masking on Speech Intelligibility in Cochlear Implant Simulations.

- Seeber, J. J. (2016). A Method to Enhance the Use of Interaural Time Difference for Cochlear Implant in Reverberant Environments. 1116-1129.
- Shannon, R. V., Fu, Q.-J., Galvin, J., & Friesen, L. (2003). Speech Perception with Cochlear Implant. In *Springer Handbook of Auditory Research*. Los Angeles: House Ear Institute.
- Shannon, R. V., Zeng, F.-G., Kamath, V., Wygonski, J., & Ekelid, M. (1995). Speech Recognition with Primarily Temporal Cues. 303-304.
- Stickney, G. S., Zeng, F.-G., Litovsky, R., & Assmann, P. (2004). Cochlear implant speech recognition with speech masker. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1081-1091.
- Tomar, V. (2012). *Blind Dereverberation using Maximum Kurtosis of the Speech Residual*. Montreal, Canada: Department of Electrical & Computer Engineering McGill University.
- Valerie C. Scanlon, T. S. (2007). The Senses. In T. S. Valery C. Scanlon, *Essentials of Anatomy and Physiology* (pp. 211-216). Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Waleed B. Alshuaib, J. M.-K. (2015). *Classification of Hearing Loss*, <https://www.intechopen.com/books/update-on-hearing-loss/classification-of-hearing-loss>.
- WHO. (2018, Maret 15). Retrieved Juni 19, 2019, from World Health Organization: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Yusuke Hioka, K. N. (2010). Evaluating Estimation of Direct-to-Reverberant Energy Ratio using D/R Spatial Correlation Matrix Model. *20th International Congress on Acoustics, ICA 2010*. Sydney.
- Zeng, F. -G. (2002). Temporal Pitch in Electric Hearing. *Hear. Res*, 101-106.

BIODATA PENULIS



Penulis adalah anak pertama dari 2 bersaudara yang lahir di Kediri, 24 Juni 1996. Penulis menempuh pendidikan di SD Islam Al-Huda, SMPN 1 Kediri, dan SMAN 2 Kediri kemudian melanjutkan ke Teknik Fisika ITS.

Penulis memulai kegiatan organisasi dengan menjadi staff Internal di Indocor Student Chapter ITS pada tahun kedua. Pada tahun ketiga penulis menjadi wakil Kepala Departemen Kewirausahaan (KWU) HMTF ITS serta bergabung dengan Laboratorium Vibrasi dan Akustik.

Pada bulan Juni 2019 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan bidang minat Vibrasi dan Akustik. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* alifzulfi9@gmail.com.